



TUGAS AKHIR - RF 141501

**IDENTIFIKASI PERSEBARAN LUMPUR DENGAN  
METODE TAHANAN JENIS 2 DIMENSI  
KONFIGURASI *WENNER* - *SCHLUMBERGER* DI  
GUNUNG LUMPUR SEDATI KABUPATEN  
SIDOARJO**

**MOCHAMMAD FERDION FIRDAUS  
NRP. 3714100053**

**Dosen Pembimbing  
Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T  
NIP. 19800916 200912 1 002**

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*



FINAL PROJECT - RF. 141501

# IDENTIFICATION OF MUD SPREADING BY USING 2 DIMENSIONAL RESISTIVITY WENNER - SCHLUMBERGER ARRAY AT SEDATI MUD VOLCANO SIDOARJO

MOCHAMMAD FERDION FIRDAUS  
NRP. 3714100053

Advisors:

Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T  
NIP. 19800916 200912 1 002

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

Geophysical Engineering Department  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

**IDENTIFIKASI PERSEBARAN LUMPUR DENGAN METODE  
TAHANAN JENIS 2 DIMENSI KONFIGURASI WENNER -  
SCHLUMBERGER DI GUNUNG SEDATI KABUPATEN SIDOARJO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)  
pada

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 30 Juli 2018

Menyetujui,

1. Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T  
NIP. 19800906 200912 1 002

(Pembimbing I)

2. Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

(Pembimbing II)

3. Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T  
NIP. 19890612 201504 1 003

(Penguji I)

4. Mariyanto, S.Si., M.T  
NIP. 1991201711044

(Penguji II)

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi  
Departemen Teknik Geofisika

Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “IDENTIFIKASI PERSEBARAN LUMPUR DENGAN METODE TAHANAN JENIS 2 DIMENSI KONFIGURASI *WENNER - SCHLUMBERGER* DI GUNUNG LUMPUR SEDATI KABUPATEN SIDOARJO” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 30 Juli 2018

Mochammad Ferdion Firdaus  
NRP. 3714100053



*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

# **IDENTIFIKASI PERSEBARAN LUMPUR DENGAN METODE TAHANAN JENIS 2 DIMENSI KONFIGURASI *WENNER - SCHLUMBERGER* DI GUNUNG LUMPUR SEDATI KABUPATEN SIDOARJO**

Nama Mahasiswa : Mochammad Ferdion Firdaus  
NRP : 3714100053  
Departemen : Teknik Geofisika, FTSLK  
Dosen Pembimbing : Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T

## **ABSTRAK**

Keberadaan lahan kaveling di bagian selatan gunung lumpur Sedati dapat dikategorikan berisiko terkena bencana erupsi gunung lumpur. Penyebabnya adalah gunung lumpur Sedati tersebut terletak sekitar 3,1 Km di sisi timur patahan Watu Kosek. Adanya aktivitas seismik dari patahan tersebut mampu memicu terjadinya semburan lumpur yang dapat menggenangi pemukiman warga seperti yang terjadi pada lumpur Sidoarjo. Risiko tersebut dapat diminimalisir dengan mengetahui persebaran lumpur, sehingga warga dapat memilih area kaveling yang jauh dari sebaran lumpur. Penelitian yang tepat untuk dilakukan dengan tujuan tersebut adalah dengan memanfaatkan sebaran nilai tahanan jenis lumpur. Penelitian ini diawali dengan mengukur nilai tahanan jenis lumpur dari gunung lumpur Sedati. Nilai tersebut berguna sebagai referensi analisis model hasil inversi data pengukuran lapangan. Pengukuran tersebut dilakukan dengan variasi kadar air lumpur. Hasil pengukuran menunjukkan rentang nilai tahanan jenis lumpur gunung lumpur Sedati yakni  $0,17 \Omega\text{m} - 6,03 \Omega\text{m}$ . Adapun pengukuran tahanan jenis di lapangan menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* karena memiliki resolusi vertikal dan horizontal yang baik dengan 7 lintasan maksimal berbentuk 112 m. Total luas lahan yang diteliti adalah 2 Ha atau sekitar 32% dari luas gunung Lumpur Sedati. Hasil pemodelan 2 dimensi pada semua lintasan menunjukkan sebaran nilai tahanan jenis hingga kedalaman 12,9 m. Model tersebut memiliki nilai kesalahan absolut  $<10\%$  atau keakuratan model  $>90\%$ . Berdasarkan hasil pemodelan tersebut, pada lintasan 1 hingga lintasan 4 terdapat kemenerusan jalur intrusi lumpur di bagian barat lintasan. Sementara pada lintasan 5 hingga 7, jalur intrusi hanya terdapat pada lintasan 5 dan 6. Hal tersebut menunjukkan keberadaan lumpur dominan di bagian barat lintasan. Meskipun demikian, material terindikasi lumpur tetap ditemukan menyebar rata seluas lokasi penelitian dengan ketebalan yang bervariasi.

**Kata Kunci:** Gunung Lumpur Sedati, Metode Tahanan Jenis, Persebaran Lumpur, *Wenner-Schlumberger*

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

# **IDENTIFICATION OF MUD SPREADING BY USING 2 DIMENSIONAL RESISTIVITY WENNER - SCHLUMBERGER ARRAY AT SEDATI MUD VOLCANO SIDOARJO**

Name : Mochammad Ferdion Firdaus  
NRP : 3714100053  
Department : Geophysical Engineering, FTSLK  
Advisors : Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T

## **ABSTRACT**

The existence of the plot of land in the southern part of Sedati mud volcano can be categorized at risk of mud volcano eruption disaster. The reason is the mud volcano Sedati is located about 3.1 km on the east side of Watu Kosek fault. The existence of seismic activity from the fault is able to trigger the occurrence of mudflow that can inundate residents settlement. The risk can be minimized by knowing the distribution of mud, so that people can choose areas that are far from the distribution of mud. Appropriate research to be carried out for such purposes amongst other uses the resistivity method. This research begins by knowing the value of mud type resistivity from mud volcano Sedati. The value is useful as a reference model analysis. Measurement of sludge type resistivity values was carried out on mud samples with variations in moisture content content. Based on these measurements, the range of mud of Sedati mud volcano is  $0.17 \Omega\text{m}$  -  $6.03 \Omega\text{m}$ . The measurement of this type of resistivity using the configuration of Wenner-Schlumberger because it has a good vertical and horizontal resolution with 7 maximum lines and has maximum length 112 m. The total area on this research is 2 Ha or about 32% of total area of Sedati Mud volcano. The 2 dimensional modeling results on all paths show the model to a depth of 12.9 m. The model has an absolute error value  $<10\%$  it means the model accuracy is  $>90\%$ . Based on the modeling results, on first line to forth there is the smoothness of the mud intrusions in the western part of the line. While on fifth line to seventh, intrusion paths are found only in fifth line and sixth. This results in the presence of predominant mud on the west of the line. Nevertheless, the mud indicated material was found to spread evenly across an area of research with varying thickness.

**Key Word:** Mud Spreading, Resistivity Method, Sedati Mud Volcano, Wenner-Schlumberger Array

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah azza wa jalla karena berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan Judul “IDENTIFIKASI PERSEBARAN LUMPUR DENGAN METODE TAHANAN JENIS 2 DIMENSI KONFIGURASI *WENNER - SCHLUMBERGER* DI GUNUNG LUMPUR SEDATI KABUPATEN SIDOARJO”. Penelitian tugas akhir ini meliputi pengukuran metode Resistivitas 2D di lapangan dan pengukuran nilai resistivitas lumpur skala laboratorium. Data tersebut digunakan untuk mendapatkan hasil interpretasi yang baik.

Dengan selesainya penulisan laporan tugas akhir ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Sunia Nailuvar dan Bapak Drs. Budhi Suprayitno, S.H, M.Si, kedua orang tua saya, atas limpahan doa dan segala bentuk dukungan bagi penulis.
2. Bapak Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T dan Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Ibu Wien Lestari, M.T yang telah membimbing dan turut membiayai penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.
4. Dr.Widya Utama, DEA selaku Kepala Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan untuk penulis.
5. Bapak Juan Pandu GNR, S.Si., M.T dan bapak Mariyanto, S.T., M.T selaku dosen penguji 1 dan 2 yang telah memberikan masukan berarti untuk kebaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh relawan pengukuran atas bantuan tenaga, saran dan kebaikan lainnya
7. Saudara-saudaraku mahasiswa Teknik Geofisika ITS khususnya angkatan 2014 (TG3) yang luar biasa kasih sayang dan bantuannya untuk penulis.
8. Saudara-saudaraku di forum Indonesia Waspada, Alumni SKI Libels dan Jamaah Masjid Manarul Ilmi (khususnya Ashabus Sekpa) atas doa dan dukungan moral untuk penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan sebagai modal di masa depan. Semoga melalui tugas akhir ini tersebar segala kebermanfaatan seluas – luasnya.

Surabaya, 30 Juli 2018

Mochammad Ferdion Firdaus  
NRP. 3714100053

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Penelitian Terdahulu .....	3
2.2 Geologi Regional Gunung Lumpur Sedati .....	3
2.2.1 Fisiografi.....	5
2.2.2 Stratigrafi Lokasi Penelitian .....	5
2.3 Geologi Gunung Lumpur Sedati.....	9
2.4 Metode Tahanan Jenis .....	10
2.4.1 Sifat Kelistrikan Batuan.....	10
2.4.2 Prinsip Metode Tahanan Jenis .....	11
2.4.3 Tahanan Jenis Semu.....	15
2.4.4 Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> .....	15
2.5 Metode Inversi.....	16
2.5.1 Inversi <i>Least Square</i> .....	16
2.5.2 <i>Mean Absolute Error</i> dan <i>Root Mean Square Error</i> .....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Lokasi dan Desain Akuisisi Penelitian.....	19
3.1.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.1.2 Desain Akuisisi Penelitian .....	20
3.2 Langkah Kerja.....	21
3.2.1 Alat dan Perangkat Lunak.....	23



3.2.2 Studi Literatur.....	23
3.2.3 Survei Lapangan .....	23
3.2.4 Pengumpulan Data.....	24
3.2.5 Pemodelan .....	25
3.2.6 Analisis Model .....	26
3.2.7 Interpretasi.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Hasil Pengumpulan Data.....	27
4.1.1 Hasil Pengukuran Data Lapangan .....	27
4.1.2 Hasil Pengukuran Sampel Lumpur di Gunung Lumpur Sedati.....	28
4.2 Analisis Model.....	29
4.3 Pembahasan .....	38
4.3.1 Rentang Nilai Tahanan Jenis Lumpur .....	38
4.3.2 Penentuan Persebaran Lumpur .....	38
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>PROFIL PENULIS.....</b>	<b>53</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Material .....	11
Tabel 2.2 Prediksi Kedalaman Penetrasi .....	16
Tabel 3.1 Koordinat Titik Lintasan Akuisisi.....	21
Tabel 3.2 Ketentuan Format Data Masukan .....	21
Tabel 4.1 Kutipan Data Hasil Akuisisi Lintasan 1, N=1 .....	27
Tabel 4.2 Kutipan Data Hasil Kalkulasi Lintasan 1, N=1.....	28
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Lumpur .....	28

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Citra Keberadaan Gunung Lumpur Sedati .....	4
Gambar 2.2 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian .....	6
Gambar 2.3 Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur .....	7
Gambar 2.4 Stratigrafi Lokasi Penelitian.....	8
Gambar 2.5 Ilustrasi Terjadinya Gunung Lumpur .....	9
Gambar 2.6 Aliran Arus Listrik Pada Benda Silinder .....	11
Gambar 2.7 Aliran Arus Listrik Pada Homogen Isotropi .....	12
Gambar 2.8 Konfigurasi <i>Wenner-Schkumberger</i> .....	14
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dengan Citra Satelit .....	19
Gambar 3.2 Detail Citra Satelit Lokasi Penelitian .....	19
Gambar 3.3 Desain Akuisisi Penelitian .....	20
Gambar 3.4 Kolam Lumpur .....	20
Gambar 3.5 Skema Alur Langkah Kerja.....	22
Gambar 3.6 Perlengkapan Alat Geolistrik .....	23
Gambar 3.7 Ilustrasi Wadah Pengukuran Sampel .....	24
Gambar 3.8 Parameter Inversi yang Digunakan .....	25
Gambar 4.1 Model Hasil Inversi Lintasan 1 .....	31
Gambar 4.2 Model Hasil Inversi Lintasan 2 .....	31
Gambar 4.3 Model Hasil Inversi Lintasan 3 .....	33
Gambar 4.4 Model Hasil Inversi Lintasan 4 .....	33
Gambar 4.5 Model Hasil Inversi Lintasan 5 .....	35
Gambar 4.6 Model Hasil Inversi Lintasan 6 .....	35
Gambar 4.7 Model Hasil Inversi Lintasan 7 .....	37
Gambar 4.8 Korelasi Model Untuk Zonasi .....	39
Gambar 4.9 Korelasi Model Lintasan 1 – 4 .....	40
Gambar 4.10 Korelasi Model Lintasan 5 – 7 .....	41
Gambar 4.8 Korelasi Model Berpotongan Lintasan 3, 5 dan 6 .....	42

\

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Menurut Amelinda (2016) gunung lumpur Sedati merupakan 1 dari 14 gunung lumpur di Jawa Timur. Secara administrasi, gunung lumpur ini terletak di perbatasan desa Buncitan dan desa Kalanganyar, oleh karena itu di beberapa penelitian gunung lumpur ini disebut sebagai gunung lumpur Kalanganyar. Ditinjau dari kondisi geologi regionalnya, gunung lumpur Sedati terletak pada satu jalur dengan gunung lumpur Gunung Anyar di Surabaya dan lumpur Sidoarjo. Ketiganya terletak berdekatan dengan patahan Watu Kosek yang berorientasi Timur Laut-Barat Daya (Mazzini dkk., 2012). Fenomena gunung lumpur memang sangat identik dengan aktivitas tektonik yang kuat (Mazzini dkk., 2009). Selain itu, gunung lumpur Sedati juga terletak pada busur belakang cekungan (*back arc basin*) Jawa Timur bagian timur laut dan diperkirakan berusia tersier sama seperti lokasi lumpur Sidoarjo (Mazzini dkk., 2007). Letak geologis gunung lumpur Sedati tersebut cukup menarik untuk dipelajari, namun kenyataannya masih sangat minim penelitian di lokasi ini.

Urgensi dilakukannya penelitian di gunung lumpur Sedati disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama karena gunung lumpur Sedati terletak dekat dengan patahan aktif Watu Kosek (Amelinda dan Santosa, 2016; Mazzini dkk., 2012). Sebab kedua adalah karena lokasi penelitian juga terletak dalam kawasan pemukiman warga yang bahkan menjadi lahan kaveling bagi warga yang akan membangun pemukiman. Sebab pertama memiliki pengaruh negatif untuk sebab kedua, karena ketika aktivitas seismik meningkat secara intensif di daerah tersebut erupsi lumpur akan sangat mungkin terjadi seperti pada lumpur Sidoarjo.

Upaya meminimalisasi risiko tersebut salah satunya adalah dengan mengetahui persebaran lumpur di bawah permukaan gunung lumpur Sedati. Dengan informasi persebaran lumpur tersebut, masyarakat akan mempertimbangkan area yang jauh dari persebaran lumpur untuk pembangunan pemukiman. Lumpur sebagai objek penelitian dikategorikan sebagai objek yang dekat dengan permukaan (seperti air tanah dan air lindi), sehingga metode tahanan jenis dianggap tepat untuk mencapai tujuan tersebut (Arsyadi, 2017).

Metode tahanan jenis yang memanfaatkan perbedaan nilai potensial berdasarkan nilai kuat arus yang diinjeksikan mampu memberikan gambaran yang baik terkait bawah permukaan (Maulida, 2013). Selain itu, metode tahanan jenis tidak destruktif terhadap lingkungan sehingga tidak menanggung beban risiko di masa mendatang. Adapun pengukuran dengan metode tersebut merupakan metode aktif yang memiliki kelebihan dalam mengontrol kedalaman sesuai dengan kebutuhan. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan konfigurasi *Wenner - Schlumberger* karena memiliki resolusi yang baik secara

vertikal maupun horizontal (Winarti, 2013). Sementara pemodelan yang akan diinterpretasi adalah model 2 dimensi agar mendapatkan informasi secara lateral maupun vertikal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, terdapat beberapa permasalahan yakni

1. Berapakah rentang nilai tahanan jenis lumpur di gunung lumpur Sedati?
2. Bagaimana identifikasi persebaran lumpur berdasarkan model 2 dimensi data tahanan jenis di gunung lumpur Sedati?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun cakupan penelitian ini meliputi beberapa hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini memakai asumsi bahwa jenis litologi daerah pengukuran sama dengan peta geologi lembar Surabaya dan Sapulu.
2. Pengukuran metode tahanan jenis menggunakan 7 lintasan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan panjang lintasan maksimal 112 meter.
3. Pengukuran metode tahanan jenis berasumsi pada bidang antarlapisan yang horizontal dan homogen isotropis dan dilakukan hanya pada saat cuaca cerah.
4. Pengukuran sampel lumpur menggunakan variasi kadar air dan diukur dengan asumsi memiliki bentuk bidang balok. Sampel diukur pada hari yang sama saat pengambilan agar menjaga keaslian sifat lumpur.
5. Pemodelan pada penelitian ini terbatas hanya 2 dimensi dengan perangkat lunak Res2DINV.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menginventarisasi nilai tahanan jenis lumpur di gunung lumpur Sedati
2. Mengidentifikasi persebaran lumpur berdasarkan model 2 dimensi dengan data tahanan jenis di gunung lumpur Sedati

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil melalui penelitian ini sebagai berikut,

1. Menjadi referensi nilai tahanan jenis lumpur khususnya pada gunung lumpur di Jawa Timur
2. Menjadi acuan bagi tata guna lahan di daerah penelitian



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

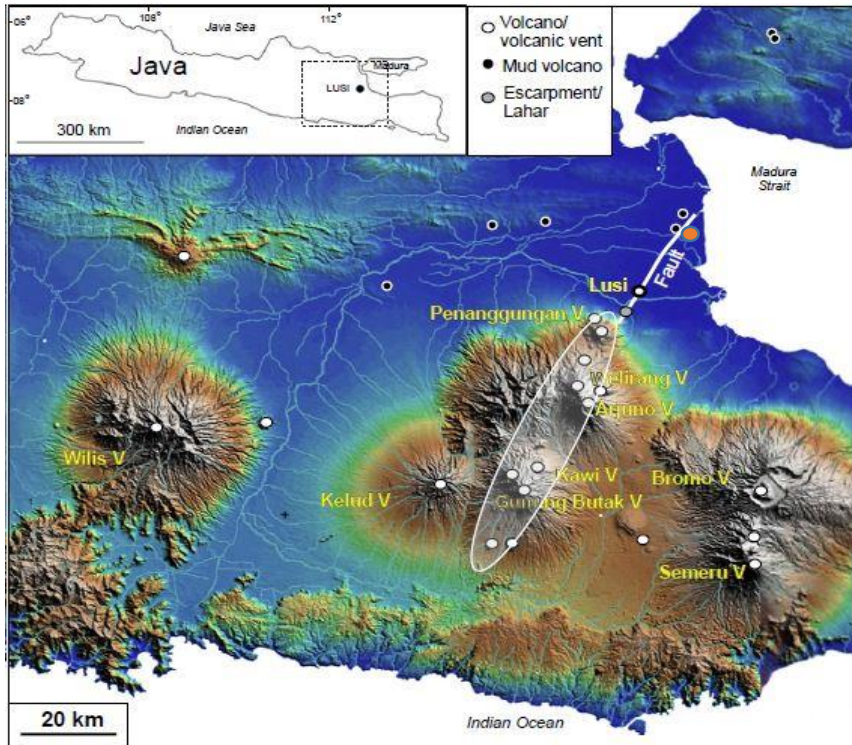
Penelitian geofisika tentang gunung lumpur memiliki topik yang beragam, baik terkait identifikasi persebaran lumpur, identifikasi struktur bawah permukaan, serta penelitian terkait asal sumber lumpur pada gunung lumpur. Topik persebaran lumpur pernah dilakukan oleh Amelinda (2016) di daerah gunung lumpur Gunung Anyar di daerah Surabaya, Jawa Timur. Sedangkan untuk topik identifikasi bawah permukaan pernah dilakukan oleh Arwananda (2017) di gunung lumpur Sedati menggunakan metode mikrotremor dan oleh Hurun (2016) di gunung lumpur Bujhel Tasek daerah Bangkalan, Jawa Timur. Penelitian secara komprehensif terkait gunung lumpur di Jawa Timur pernah dilakukan oleh Mazzini, dkk (2007, 2009, 2012), Satyana dan Asnidar (2008), serta Burhanuddinnur (2016).

Penelitian pada gunung lumpur tidak hanya ditinjau sebagai fenomena kebumihan saja, namun juga ditinjau sebagai suatu material alam. Penelitian terkait hal tersebut, contohnya pada material lumpur yang diteliti baik secara fisika maupun kimiawi. Penelitian itu dilakukan oleh Mustopa dan Risanti (2013) dan oleh Burhanuddinnur (2006). Penelitian pertama dilakukan untuk lumpur dari gunung lumpur Sidoarjo (Lumpur Sidoarjo Lapindo) yang menghasilkan kesimpulan diantaranya adalah perubahan nilai tahanan jenis lumpur yang bervariasi akibat kadar airnya. Hasil penelitian tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai acuan perlakuan pada pengukuran nilai tahanan jenis lumpur. Sementara penelitian kedua menghasilkan informasi pada aspek kimiawinya.

Adapun penggunaan metode tahanan jenis dalam pengidentifikasian persebaran fluida dilakukan oleh Santoso, dkk (2013) dengan konfigurasi *Schlumberger* dan dipole-dipole (persebaran air tanah), oleh Amelinda (2016) dengan konfigurasi dipole-dipole (persebaran lumpur), dan oleh Arsyadi (2017) dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (persebaran air lindi). Penelitian pertama memperoleh kedalaman model hingga 5 meter. Penelitian kedua memperoleh kedalaman model hingga 11 meter. Penelitian ketiga memperoleh kedalaman model hingga 17 meter. Hasil dari semua penelitian tersebut menjadi referensi dalam penelitian ini terkait prinsip kerja metode serta kedalaman penetrasinya.

## 2.2 Geologi Regional Gunung Lumpur Sedati

Lokasi penelitian ini terletak pada daerah gunung lumpur Sedati. Adapun secara koordinat terletak pada  $7^{\circ}23'59,17''$  S dan  $114^{\circ}47'20,28''$  E. Struktur geologi terdekat dengan lokasi penelitian adalah patahan Watu Kosek. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Peta Citra Keberadaan Gunung Lumpur Sedati

Berdasarkan Kusumastuti dalam Mazzini (2012), gunung lumpur ini berada pada busur belakang cekungan Jawa Timur sebelah timur laut berusia tersier. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa arah orientasi lereng utama (lingkaran putih) kompleks pegunungan Arjuno-Welirang sama dengan orientasi patahan Watu Kosek. Sementara lokasi gunung lumpur Sedati berada pada sisi timur ujung

patahan tersebut (lingkaran oranye) (Mazzini dkk., 2012). Indikasi keberadaan gunung lumpur di sekitar patahan Watu Kosek juga terdapat pada penelitian Syaifuddin dkk (2016) dan Arwananda dkk (2017).

### **2.2.1 Fisiografi**

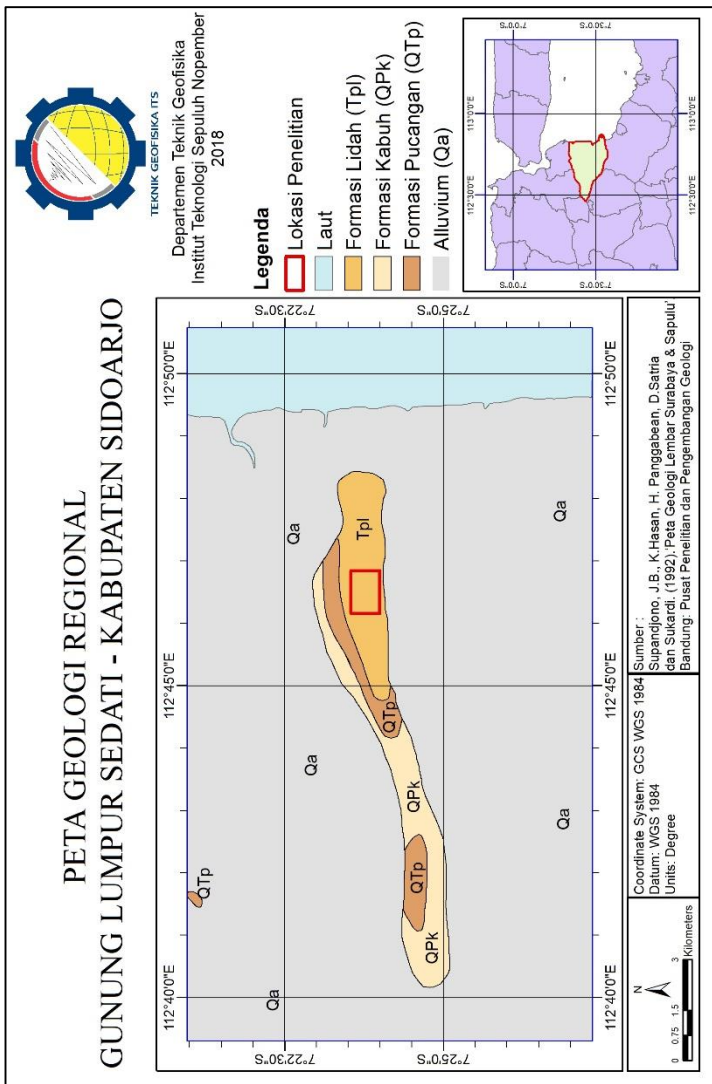
Pada peta geologi regional lembar Surabaya dan Sapulu, lokasi penelitian terletak pada formasi Lidah “T<sub>pl</sub>” (ditunjukkan dalam kotak merah gambar 2.2) (Supandjono dkk., 1992). Endapan sedimen formasi Lidah terdeposit mulai pliosen akhir hingga pleistosen (Susilohadi, 1995). Usia deposit tersebut relatif lebih muda daripada formasi Kabuh dan formasi Pucangan. Penciri litologi pada formasi Lidah ini adalah batulempung biru (*Blue Clays*) (Van Bemmelen, 1949).

Berbeda dengan peta geologi regional, lokasi penelitian terletak pada dataran aluvium di bagian utara Jawa Timur pada gambar fisiografi yang ditampilkan pada gambar 2.3. Perbedaan tersebut adalah wajar karena peta geologi regional lebih detail daripada peta fisiografi. Dataran aluvium ini berbatasan dengan zona Kendeng dan zona Rembang di bagian Barat (Van Bemmelen, 1949; Susilohadi, 1995). Pada peta geologi regional (gambar 2.1), dataran aluvium ini disimbolkan dengan Q<sub>a</sub> yang mengelilingi lokasi penelitian.

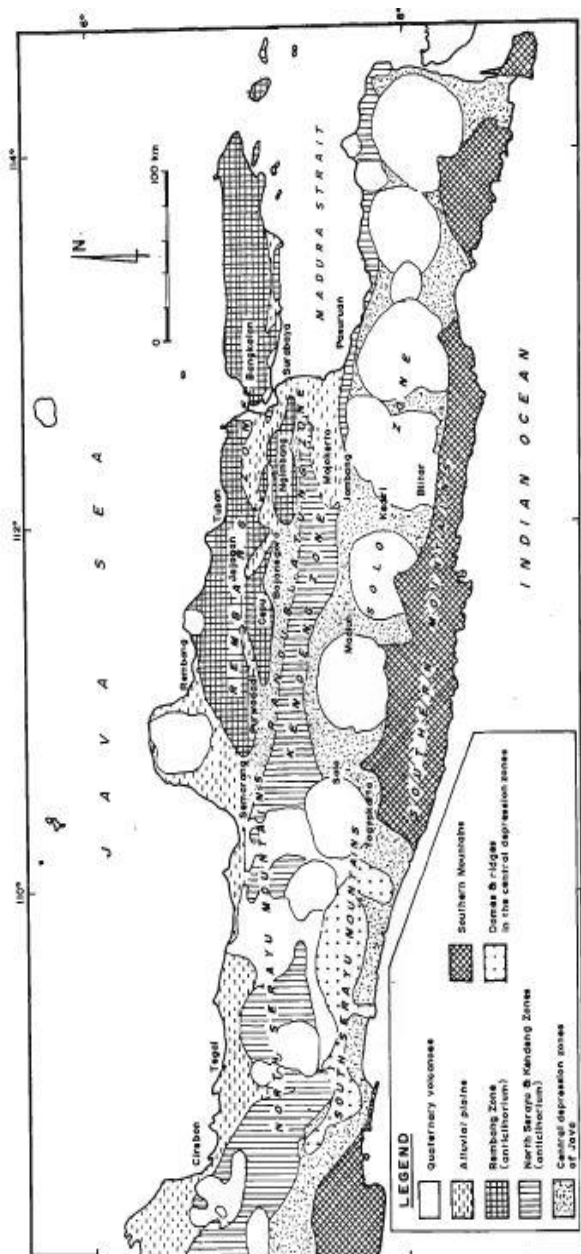
Formasi Lidah dikenal sebagai fasies lempung dari formasi Pucangan. Formasi Lidah meluas dari bagian timur zona Kendeng dan bagian barat – selatan zona Rembang. Formasi lidah memiliki ketebalan yang bervariasi antara 300 – 550 m pada sisi timur zona Kendeng. Variasi ini disebabkan karena perubahan fasies antara tinggian formasi Lidah dengan fasies vulkanik dari formasi Pucangan paling bawah (Susilohadi, 1995).

### **2.2.2 Stratigrafi Lokasi Penelitian**

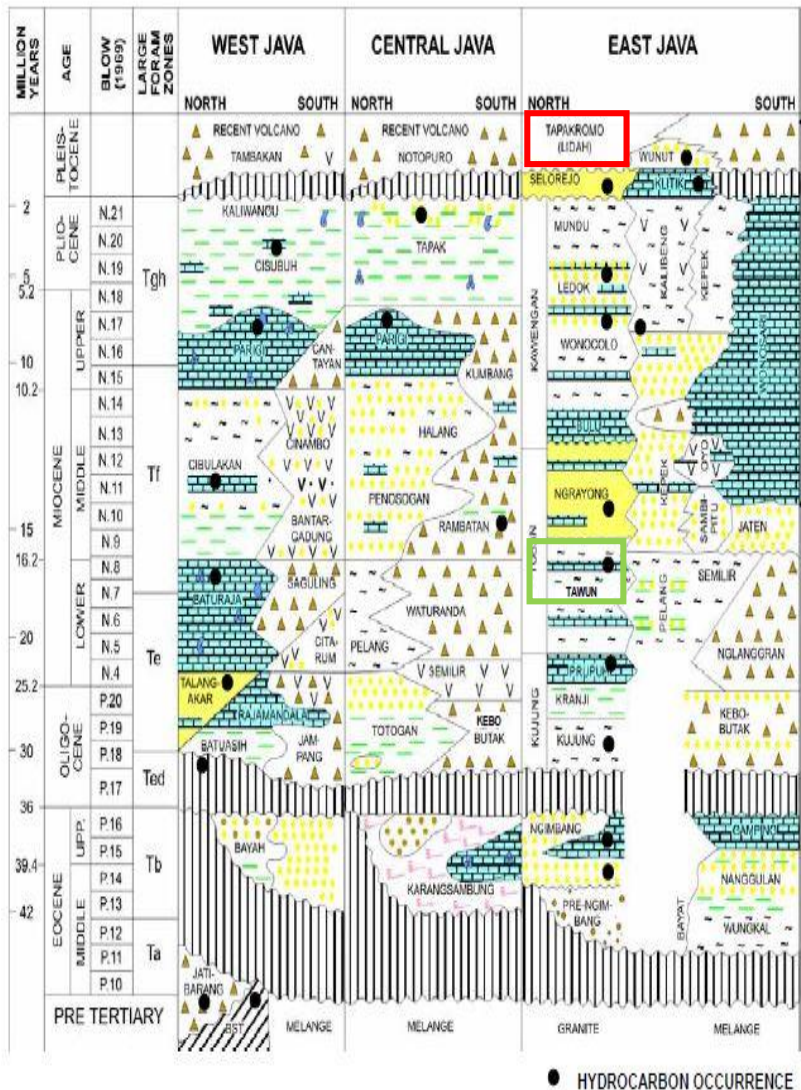
Stratigrafi pada lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 2.4. Formasi lidah ini termasuk dalam cekungan Jawa Timur bagian utara yang banyak terdapat zona reservoir hidrokarbon (ditunjukkan pada kotak merah). Usia formasi Lidah berada pada era pleistosen. Lokasi reservoir tersebut sekaligus menjadi lokasi asal mula keberadaan lumpur. (Satyana dan Asnidar, 2008). Secara spesifik, lokasi sumber lumpur pada gunung lumpur Sedati disebutkan berada pada sedimen berusia miosen tengah hingga pliosen yakni pada formasi Tawun (ditunjukkan pada kotak hijau). (Burhanuddinnur, 2016). Berdasarkan penelitian Hurun (2016), reservoir batuan yang didiami oleh material lumpur adalah batugamping (*limestone*). Mengacu pada hal tersebut, pada kolom stratigrafi ini juga diperkirakan sumber lumpur tersebut berada pada lapisan batugamping (*limestone*) pada formasi Tawun.



Gambar 2.2 Peta Geologi Regional Gunung Lumpur Sedati - Kabupaten Sidoarjo (Supandjono dkk., 1992)



Gambar 2.3 Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur oleh Van Bemmelen (Susilohadi, 1995)

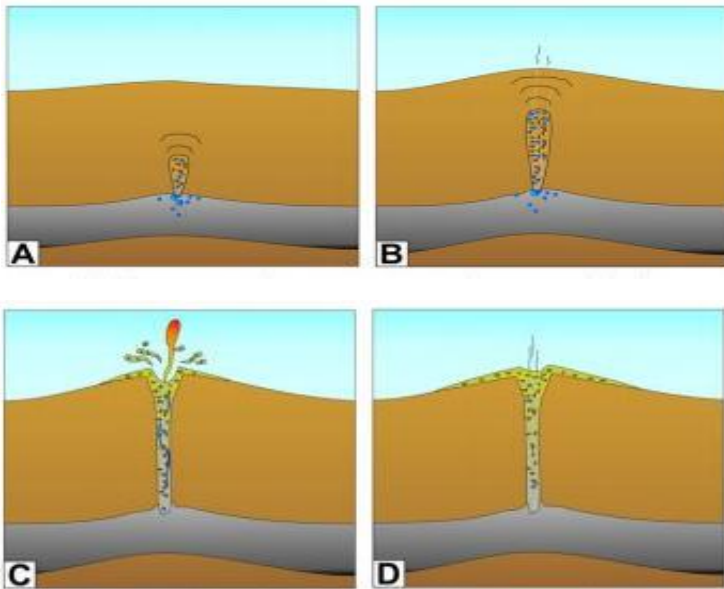


Gambar 2.4

Kolom Stratigrafi pada Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur yang menunjukkan ketersediaan hidrokarbon sekaligus berada pada lokasi sumber lumpur pada sedimen miosen tengah hingga pliosen (Satyana dan Asnidar, 2008)

### 2.3 Geologi Gunung Lumpur Sedati

Gunung lumpur adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan struktur yang memancarkan air, lumpur atau material-material derivatif dari hidrokarbon. Adapun penyebab terbentuknya gunung lumpur dipastikan merupakan hasil dari aktivitas endogen (dari dalam bumi). Gunung lumpur juga diidentikkan dengan intrusi material yang relatif mudah bergerak akibat gaya apungan (*buoyancy*) pada suatu struktur plastis yang belum terkompaksi sempurna dengan perbedaan tekanan tinggi dan mencapai permukaan (Satyana dan Asnidar, 2008). Secara ilustratif, pembentukan gunung lumpur dapat dilihat pada gambar 2.4. Adapun material tersebut terkadang bersifat plastis maupun cair dengan komponen kimiawi campuran mineral dan gas yang khas (mengandung senyawa garam dan hidrokarbon). (Burhanuddinnur, 2016).



Gambar 2.5 Ilustrasi terjadinya gunung lumpur. (Mazzini dkk., 2007)

Pada gambar di atas, gambar A menunjukkan tekanan tinggi pada material lumpur yang terjadi pada sedimen impermeable menyebabkan formasi diapir tumbuh. B) Tekanna tinggi pada diapir mencapai kedalaman kritis dan tidak dapat menahan diapir tersaturasi gas. C) Gas meluap ke permukaan dan

membuka rekahan sehingga material lumpur ikut meluber. D) Luapan lumpur ke permukaan dalam jangka waktu yang lama membuat penebalan lapisan sedimen hingga membentuk gundukan seperti gunung.

## **2.4 Metode Tahanan Jenis**

### **2.4.1 Sifat Kelistrikan Batuan**

Sifat listrik batuan adalah karakteristik dari batuan jika dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik timbul secara alami akibat terjadinya ketidaksetimbangan elektron maupun adanya arus listrik yang sengaja dialirkan ke dalamnya. Aliran (konduksi) arus listrik di dalam batuan dan mineral berdasarkan Arif dan Hendrajaya dalam penelitian Karisma (Karisma, 2013) digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik.

Konduksi elektronik merupakan jenis konduksi yang dimanfaatkan dalam metode geolistrik tahanan jenis. Konduksi secara elektronik terjadi karena batuan atau mineral mengandung banyak elektron bebas. Arus listrik diasumsikan muatan positif yang bergerak ke arah terminal negatif, sedangkan muatan negatif bergerak ke terminal positif. Selain itu aliran listrik juga dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing batuan atau mineral yang dilaluinya.

Salah satu sifat atau karakteristik kelistrikan batuan tersebut adalah tahanan jenis (resistivitas), yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Tahanan jenis memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut. Dengan kata lain, bahwa tahanan jenis merupakan resistansi yang dinormalisasi terhadap geometri.

Adapun nilai tahanan jenis pada setiap material, telah diinventarisasi berdasarkan penelitian di wilayah Amerika dan Eropa oleh Telford (Telford dkk., 1990), MH. Loke (Loke, 2004), serta Lowrie (Lowrie, 2007) maupun berdasarkan hasil penelitian yang telah ada khususnya terkait dengan lumpur pada gunung lumpur dan batulempung pada tabel berikut ini.



Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Material

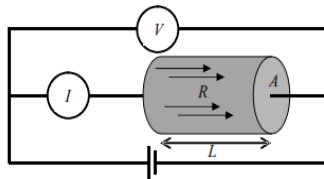
Material	Tahanan Jenis MH. Loke ( $\Omega\text{m}$ )	Tahanan Jenis Lowrie ( $\Omega\text{m}$ )	Tahanan Jenis Telford ( $\Omega\text{m}$ )
Tahanan Jenis Lempung Rolia Eva (Saidah dkk., 1991)			
Lempung ( $\Omega\text{m}$ )	Lempung Berdebu ( $\Omega\text{m}$ )	Lempung Berpasir ( $\Omega\text{m}$ )	Lempung Serpil ( $\Omega\text{m}$ )
3 - 30	5 - 40	40 - 100	50 - 200
Lokasi Material Lumpur	Tahanan Jenis ( $\Omega\text{m}$ )	Referensi Penelitian	
Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bangkalan	2, 20 - 4,25	Nurisyadzatul Hurun, 2016	
Gunung Lumpur Gunung Anyar Surabaya	0,33 - 0,67	Kurnia Amelinda S, 2016	

Nilai

tahanan jenis di atas didasarkan pada informasi geologi seperti telah dijelaskan pada sub bab 2.2. Berdasarkan tabel di atas, juga dapat dijelaskan bahwa pada pengukuran metode tahanan jenis di gunung lumpur Sedati, material yang memiliki nilai *low resist* bisa diindikasikan sebagai lumpur, adapun sebaliknya dapat diindikasikan sebagai material yang diintrusi oleh lumpur (dalam hal ini batu lempung).

#### 2.4.2 Prinsip Metode Tahanan Jenis

Bawah permukaan bumi merupakan medium yang terdiri dari lapisan batuan yang berbeda-beda. Lapisan batuan ini diasumsikan berlapis secara horizontal. Jenis lapisan batuan yang berbeda-beda ini juga memiliki hambatan jenis/ tahanan jenis yang berbeda pula. Tahanan jenis  $\rho$  dari bahan adalah pengukuran seberapa baik bahan menghambat aliran arus listrik (Telford, 1990).



Gambar 2.6 Aliran Arus Pada Benda Silinder (Telford, 1990)

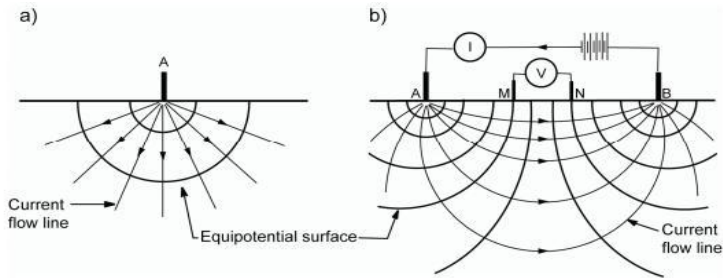
Suatu material konduktif yang berbentuk silinder yang homogen memiliki luas penampang  $A$  dengan panjang sebesar  $L$ , maka nilai tahanan jenisnya adalah:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.1)$$

dengan:

- $\rho$ : Nilai tahanan jenis sampel ( $\Omega\text{m}$ )
- $A$ : Luas penampang pada wadah sampel ( $\text{mm}^2$ )
- $V$ : Potensial terukur pada sampel ( $\text{mV}$ )
- $I$ : Kuat arus yang diinjeksi pada sampel ( $\text{mA}$ )
- $L$ : Panjang atau tinggi wadah sampel ( $\text{mm}^2$ )

Bumi diasumsikan sebagai medium yang homogen isotropis. Misalkan elektroda arus mengalirkan arus pada medium isotropis, maka akan terbentuk bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola =  $2\pi r^2$  sedangkan garis aliran arus medan listriknya pada arah radial (Telford dkk., 1990).



Gambar 2.7 (a) Aliran Arus Listrik Pada Homogen Isotropi; (b) Elektroda Arus dan Potensial dalam Pengukuran Tahanan Jenis (Telford dkk., 1990)

Gambar di atas merupakan gambaran suatu sumber listrik yang diinjeksikan kedalam bumi yang homogen isotropis yang tegak lurus terhadap bidang ekuipotensial. Arus yang mengalir kedalam bumi akan mengalir kesegala arah dan akan menyebabkan adanya perbedaan potensial disekitarnya. Arus yang mengalir memiliki nilai yang sama kesegala arah sehingga beda potensial yang disebabkan pun memiliki nilai yang sama. Daerah dengan beda potensial yang sama di segala titik tersebut kemudian disebut dengan daerah ekuipotensial (Telford dkk.,1990).

Secara matematis, nilai potensial  $V$  yang terukur akibat satu sumber arus tunggal memenuhi persamaan Laplace untuk asumsi bumi sebagai bola sebagai berikut

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} \right\} \quad (2.2)$$

Namun pada penerapan metode tahanan jenis, nilai potensial tersebut hanya ditinjau dari fungsi jarak atau jari-jari  $r$  saja, sehingga persamaan 2.2 menjadi berikut

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) \right\} \quad (2.3)$$

Simbol  $\partial$  berubah menjadi  $d$  karena persamaan menjadi parsial berdasarkan salah satu fungsi dari persamaan 2.2. Pada persamaan 2.2 terdapat fungsi jarak, fungsi azimuth dan fungsi sudut yang memberi gambaran utuh tentang nilai beda potensial pada bumi. Apabila  $\nabla^2 V = 0$ , maka integral dari persamaan 2.3 akan menjadi

$$\int 0 = \int \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) \quad (2.4)$$

dan hasil integralnya adalah

$$0 + A = \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) \quad \text{atau} \quad \frac{A}{r^2} = \frac{dV}{dr} \quad (2.5)$$

persamaan 2.5 diintegrasikan kembali menjadi

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.6)$$

Beda potensial yang dihasilkan saat arus listrik menjalar pada bumi, juga dipengaruhi dengan rapat arus  $J$ . Rapat arus pada luas permukaan bola  $4\pi r^2$  dan arus  $I$  secara matematis ditulis sebagai

$$J = \frac{I}{4\pi r^2} \quad (2.7)$$

Menurut fungsi yang lain, rapat arus juga dipengaruhi oleh nilai tahanan jenis  $\rho$  dan jari – jari permukaan atau jarak  $r$  yang dalam matematis ditulis sebagai berikut

$$J = \frac{1}{4\pi} \frac{A}{r^2} \quad (2.8)$$

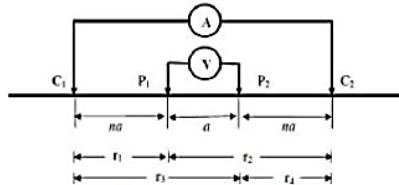
Hasil substitusi persamaan 2.7 dan 2.8 menghasilkan persamaan beriku

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan persamaan 2.9, maka persamaan 2.6 dapat ditulis ulang sebagai

$$V = \left( \frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.10)$$

Pengukuran yang dilakukan di lapangan digunakan dua elektroda yang berfungsi untuk mengalirkan arus (C1 dan C2 atau A dan B). Sedangkan beda potensialnya diukur antara dua titik dengan menggunakan dua elektroda potensial (P1 dan P2 atau M dan N). Konfigurasi elektroda pada *Wenner-Schlumberger* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.8 Konfigurasi Elektroda *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2004)

Nilai beda potensial  $V$  di titik P1 adalah:

$$V_{p1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \quad (2.11)$$

dengan  $r_1$  dan  $r_2$  adalah jarak elektroda potensial P1 terhadap elektroda-elektroda arus, sedangkan potensial di titik P2 adalah:

$$V_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \quad (2.12)$$

dengan  $r_3$  dan  $r_4$  adalah jarak elektroda potensial P2 terhadap elektroda-elektroda arus. Selisih potensial dari titik tersebut adalah:

$$\Delta P = V_{p1} - V_{p2} \quad (2.13)$$

Sehingga didapatkan besar hambatan jenisnya adalah (2.14)

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right]^{-1}$$

Dengan:

$\Delta V$ : Beda potensial antara P1 dan P2 (volt)

$I$  : Arus yang diinjeksikan melalui elektroda C1 dan C2 (amper)

$r_1$  : Jarak antara C1 dan P1 (meter)

$r_2$  : Jarak antara C2 dan P1 (meter)

$r_3$  : Jarak antara C1 dan P2 (meter)

$r_4$  : Jarak antara C2 dan P2 (meter)

$$K = 2\pi \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right]^{-1} \quad (2.15)$$

$K$  adalah nilai besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus dan juga disebut dengan faktor geometri. Dengan substitusi

nilai  $r$  dengan  $na$  seperti pada gambar 2.5, nilai  $K$  untuk konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah

$$K = \pi n(n+1) a \quad (2.16)$$

### 2.4.3 Tahanan Jenis Semu

Metode tahanan jenis menggunakan asumsi bahwa bumi memiliki nilai tahanan jenis yang homogen isotropis (asumsi satu lapisan). Akan tetapi, pada kenyataannya pengukuran dilakukan pada objek yang memiliki variasi nilai tahanan jenis secara horizontal maupun vertikal (non homogen). Sehingga, nilai potensial yang terukur merupakan pengaruh dari variasi nilai tersebut. Dengan asumsi homogen isotropis, maka nilai yang terukur sejatinya merupakan nilai asli dan tidak dipengaruhi spasi elektroda. Nilai dengan asumsi seperti ini disebut nilai tahanan jenis semu (Hurun, 2016).

### 2.4.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Prinsip pelaksanaan survei tahanan jenis adalah mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang ditancapkan pada dua titik berjarak tertentu. Penentuan elektroda tersebut memiliki pola yang disebut dengan konfigurasi. Konfigurasi tersebut memiliki kelebihan untuk masing-masing tujuan. Parameter pembanding antarkonfigurasi tersebut antara lain adalah resolusi vertikal, resolusi lateral dan juga sensitivitas terhadap kehomogenan lapisan. Diantara banyak konfigurasi yang ada, konfigurasi *Wenner-Schlumberger* memiliki pemetaan distribusi nilai resistivitas yang cukup baik secara horizontal maupun vertikal (Arsyadi, 2017; Winarti, 2013). Oleh karena keunggulan tersebut, konfigurasi ini layak digunakan untuk tujuan mencari persebaran fluida atau material lain.

Kedalaman penetrasi arus listrik pada konfigurasi ini dapat di prediksi sebagaimana tabel prediksi yang pernah dibuat oleh Loke pada tahun 2004 seperti gambar pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Prediksi Kedalaman Penetrasi (Loke, 2004)

Wenner - Schlumberger	$Z/a$	$Z/L$	Faktor Geometri (K)
$n = 1$	0,519	0,173	6,2832
$n = 2$	0,925	0,186	18,850
$n = 3$	1,318	0,189	37,699

n = 4	1,706	0,190	62,832
n = 10	4,015	0,191	94,248

Sebagai contoh, bila menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan  $n = 10$  dan jarak antar elektroda  $a$  adalah 3 m, maka panjang lintasan maksimal dari elektroda tersebut adalah 63 m. Sehingga penetrasi kedalamannya menurut konstanta  $Z/L$  adalah sekitar  $63 \text{ m} \times 0,191 = 12,03 \text{ m}$  dan bila menurut konstanta  $Z/a$  adalah sekitar  $3 \text{ m} \times 4,015 = 12,03 \text{ m}$  (Loke, 2004).

## 2.5 Metode Inversi

### 2.5.1 Inversi *Least Square*

Pada saat pemodelan, asumsi yang digunakan adalah bahwa estimasi nilai tahanan jenis bervariasi secara linier terhadap kedalaman penetrasi arus pada alat. Persamaan matematika yang merepresentasikan fenomena tersebut adalah persamaan garis lurus atau disebut regresi linier. Akan tetapi bila ditinjau pada permasalahan inversi non linier, persoalan tersebut menjadi lebih kompleks. Selain ada prediksi nilai tahanan jenis bervariasi linier terhadap kedalaman ( $\Omega m_i^{cal}$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ) ada pula nilai tahanan jenis hasil observasi ( $\Omega m_i^{obs}$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ). Dari kedua nilai tersebut, maka model  $m(a, b)$  yang representatif adalah model yang menghasilkan  $\Omega m_i^{cal} \sim \Omega m_i^{obs}$  untuk semua  $z_i = i = 1, 2, \dots, N$ . Tanda " $\sim$ " dimaksudkan karena tidak semua nilai hasil prediksi atau perhitungan cocok (*fit*) dengan nilai hasil observasi karena keterdapatannya kesalahan (*error*) atau bising (*noise*).

Kesalahan tersebut bisa terjadi karena kesalahan alat, kesalahan pengukuran maupun kesalahan representasi pemodelan yang bisa jadi sebenarnya hubungan tidak linier. Untuk mendapatkan hasil model dengan asosiasi kesalahan minimum, maka semua data harus dilibatkan dalam proses pemodelan atau perhitungan. Hal tersebut diperoleh dengan cara menjumlahkan semua selisih antara data perhitungan dan data observasi, sehingga *error function* dirumuskan sebagai berikut

$$E = \sum_{i=1}^N (\Omega m_i^{cal} - \Omega m_i^{obs})^2 = \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (2.10)$$

Dimana pengkuadratan selisih antara  $\Omega m_i^{cal}$  dan  $\Omega m_i^{obs}$  dimaksudkan untuk tidak membedakan selisih negatif atau positif. Pencarian model optimum

dengan kriteria kesalahan kuadrat minimum terkecil lebih sering disebut *Least Square Method* (Grandis, 2009).

Dengan penjelasan lain, pada metode optimasi *least square*, model awal dimodifikasi hingga jumlah kuadrat kesalahan E dari selisih antara respon model dan hasil pengukuran dapat diperkecil:

$$E = g^T g \quad (2.11)$$

Dimana E adalah jumlah kuadrat kesalahan dan g adalah selisih dari respon model dan hasil perhitungan (Loke, 2004).

Pada aplikasinya, metode *least square* tidak digunakan secara independen melainkan perlu dengan penambahan metode lainnya. Hal tersebut dilakukan karena pada kondisi tertentu, hasil matriks akan berupa nilai tunggal karena model awal yang terlalu buruk (tidak sesuai dengan model optimum). Perubahan parameter vektor dihitung menggunakan persamaan 2.12 dapat memiliki komponen terlalu besar, sehingga model baru yang dihasilkan memiliki nilai yang tidak realistis.

$$J^T J \Delta q_i = J^T q \quad (2.12)$$

Dimana J adalah turunan parsial dari matriks Jacobian dan  $\Delta q$  adalah vector perubahan model (Paulus, 2012).

Berdasarkan penelitian Lines dan Trietel dalam Paulus (Paulus, 2012) permasalahan ini dapat diselesaikan menggunakan metode Levenberg-Marquardt, dengan menambahkan parameter matriks identitas I dan faktor pengali  $\lambda$  yang disebut *Marquardt factor* atau *damping factor* sehingga persamaan 2.12 menjadi

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_i = J^T q \quad (2.13)$$

*Damping factor* tersebut secara efektif akan membatasi rentang nilai sehingga komponen – komponen perubahan parameter vector diperkecil secara optimal dan menyertakan  $\Delta q$  dalam perhitungan. Sementara menurut Grandis (2009), istilah *damping* untuk estimasi parameter model adalah terkait dengan ketidakstabilan yang mungkin timbul akibat keterbatasan data dalam inversi yang termasuk *undetermined*. Apabila nilai *damping factor* yang digunakan sangat kecil atau mendekati nol, maka kesalahan prediksi akan diminimalkan serta proses inversi akan lebih stabil (Rohmana dkk., 2015).

Kombinasi metode dalam inversi akan sangat membantu untuk menghasilkan model terbaik, selain pada kasus di atas juga pada struktur yang kompak (goa atau *ore body*). Sebabnya adalah saat proses inversi berlangsung, perhitungan Gauss Newton (pers. 2.13) akan berusaha meminimalkan jumlah kuadrat terkecil pada perbedaan vektor sementara kombinasi metode Marquardt-Levenberg juga meminimalkan kombinasi dari perbedaan vektor dan parameter perubahan vektor. Adapun pemodelan yang memiliki jumlah parameter model cukup banyak seperti model 2 dan 3 dimensi, metode tersebut kembali dimodifikasi untuk menghasilkan solusi lebih baik. Diantaranya adalah modifikasi perhitungan Gauss Newton sebagai metode *least square smoothness constraint* (Paulus, 2012). Metode tersebut digunakan pula pada perangkat lunak RES2DInv dengan keuntungan *damping factor* dan *flatness filter* dapat diatur untuk jenis data yang berbeda (Geotomo, 2010).

### 2.5.2 Mean Absolute Error dan Root Mean Square Error

*Root mean square (RMS) error* sering digunakan sebagai standar statistik pada pemodelan untuk bidang meteorologi dan studi iklim. Sementara *mean absolute error* (MAE) sering digunakan untuk bidang lainnya sebagai evaluasi model. Meskipun demikian, tidak pernah ada kesepakatan terkait metode yang manakah yang lebih baik dalam tingkat kesalahan modelnya (*model error*) (Chai dan Draxler, 2014). Alasan penggunaan MAE adalah karena metode ini merupakan pengukuran yang lebih natural untuk menghasilkan besar nilai error yang tidak menimbulkan ambiguitas sebesar RMSE. Ambiguitas yang dihasilkan oleh RMSE adalah akibat dari adanya nilai  $n^{1/2}$  yang akan berpengaruh pada perhitungan rata-rata error. Nilai tersebut membuat hasil RMSE cenderung lebih besar daripada MAE (batas bawah RMSE selalu bersesuaian dengan nilai MAE akan tetapi batas atas RMSE selalu bertambah sesuai  $n^{1/2}$ ). Penjelasan tersebut sekaligus menjadi rekomendasi bagi penilaian model untuk semua dimensi (dalam komparasi) agar menggunakan metode MAE (Willmott dan Matsuura, 2005).



*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Desain Akuisisi Penelitian

#### 3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di gunung lumpur Sedati desa Buncitan kec. Sedati kab. Sidoarjo. Secara administratif, gunung lumpur ini terletak pada perbatasan 2 desa, yakni desa Buncitan dan desa Kalanganyar, oleh karena itu pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan menggunakan istilah gunung lumpur Kalanganyar. Luas area penelitian sekitar 2 hektar. Lokasi penelitian juga terletak di antara gunung lumpur Gunung Anyar dan Lumpur Sidoarjo berada pada koordinat  $7^{\circ}23'59,70''$  S dan  $112^{\circ}47'20,14''$  E. Berikut adalah lokasi penelitian dilihat dari citra satelit melalui perangkat lunak *Google Earth*.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Dengan Citra Satelit



Gambar 3.2 Detail Citra Satelit Lokasi Penelitian

### 3.1.2 Desain Akuisisi Penelitian

Lintasan penelitian ini didesain agar dapat meliputi (*covering*) persebaran lumpur seperti pada gambar 3.3 menggunakan perangkat lunak *Google Earth*. Jarak elektroda potensial (a) adalah 3 meter dengan pengukuran akan dilakukan dengan lintasan maksimal 112 meter. Simbol pin menunjukkan titik awal pengukuran.



Gambar 3.3 Desain Akuisisi Penelitian



Gambar 3.4 Kolam Lumpur (*Mud Pool*) di Lokasi Penelitian

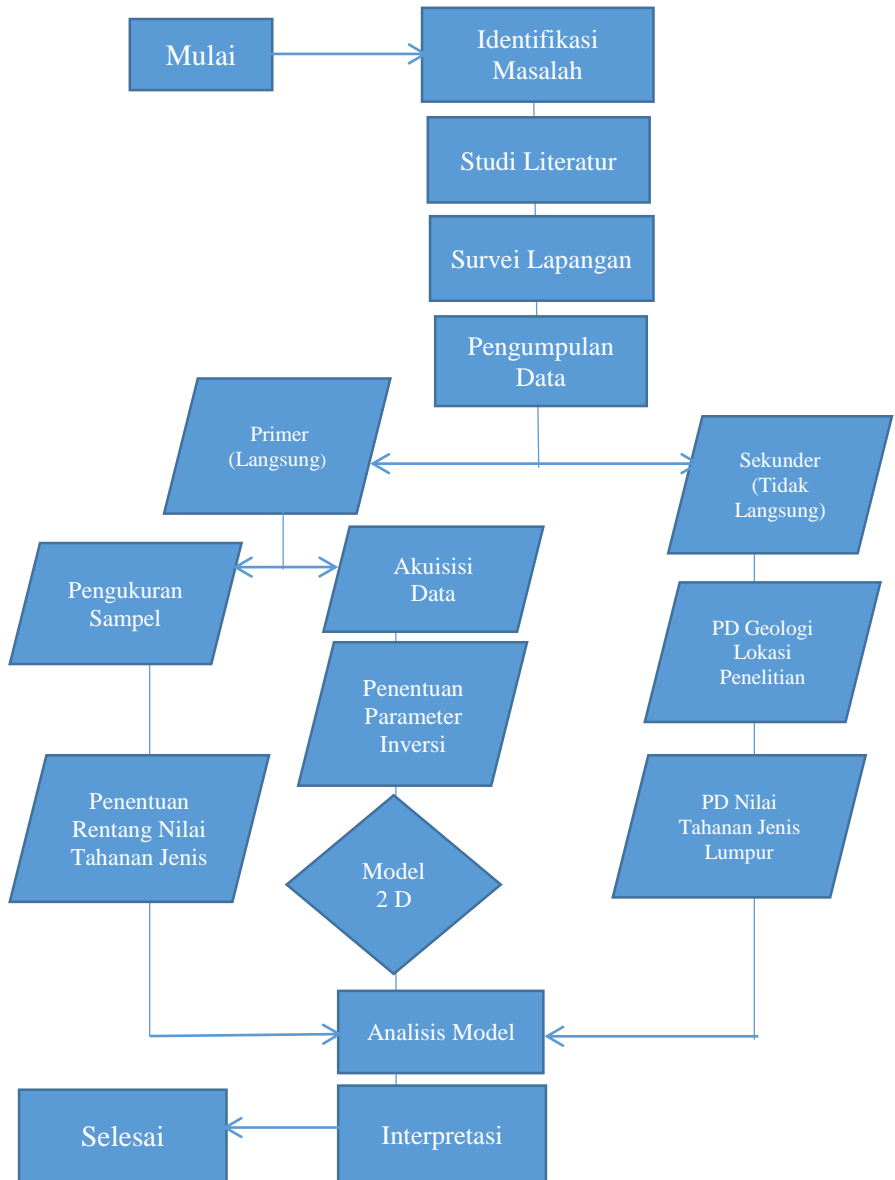
Lintasan 1 dan 2 mencapai panjang 112 meter. Pemilihan lokasi lintasan 1 dan 2 bertujuan untuk mengidentifikasi arah persebaran lumpur yang berorientasi timur – barat di daerah yang terdekat dari pemukiman warga di sisi utara. Jarak antara lintasan 1 dan 2 adalah 26 meter. Panjang lintasan 3 hingga 7 adalah 93 meter karena menyesuaikan dengan peralatan yang tersedia. Lintasan 3 dan 4 memiliki tujuan yang sama namun mengidentifikasi persebaran pada sisi selatan lokasi. Jarak antara lintasan 3 dan 4 adalah 35 meter. Adapun akuisisi pada lintasan 6 bertujuan untuk mengidentifikasi arah persebaran lumpur yang berorientasi utara-selatan di daerah yang berdekatan dengan pemukiman warga di sisi barat. Sementara lintasan 5 dan 7 memiliki tujuan yang sama namun mengidentifikasi persebaran lumpur di sekitar kolam lumpur. Jarak antara lintasan 5 dan 6 adalah 60 meter, sedangkan antara lintasan 5 dan 7 adalah 66 meter. Total luas lokasi penelitian adalah 2 Ha atau sekitar 32% dari total luas area gunung lumpur. Pengukuran ini dengan asumsi lokasi pada bidang datar (kontur bukit diabaikan karena tinggi <1m). Adapun gambar 3.4 menunjukkan kolam lumpur yang terdapat pada gambar desain akuisisi (gambar 3.3).

Tabel 3.1 Koordinat Lintasan Akuisisi

Lintasan ke-	Koordinat Titik Awal	Koordinat Titik Akhir
1	7° 23' 57,76" S/ 112° 47' 21.30" E	7°23'57.73"S/ 112°47'17.73"E
2	7° 23' 58,60" S/ 112° 47' 21.30" E	7°23'58.66"S/ 112°47'17.69"E
3	7°24'0.47" S/ 112°47'21.17" E	7°24'0.47"S / 112°47'18.31" E
4	7°24'1.85"S / 112°47'21.88" E	7°24'1.76"S/ 112°47'18.95"E
5	7° 23' 58.64" S/ 112° 47' 20.59" E	7°24'1.61"S/ 112°47'20.54"E
6	7° 23' 58.64" S/ 112° 47' 18.71" E	7°24'1.68"S/ 112°47'18.70"E
7	7° 23' 58.87" S/ 112° 47' 22.78" E	7°24'1.84"S/ 112°47'22.85"E

### 3.2 Langkah Kerja

Adapun alur langkah kerja dalam penelitian ini ditunjukkan pada skema alur pada gambar 3.5 dan dijelaskan pada sub subbab berikutnya



Gambar 3.5 Diagram Alur Langkah Kerja

### 3.2.1 Alat dan Perangkat Lunak

Pelaksanaan langkah kerja diawali dengan mempersiapkan alat dan perangkat lunak penelitian, sebagaimana yang dijelaskan sebagai berikut:

1. 2 Pita ukur 100 meter
2. 1 buah *resistivitymeter* tipe EDAK-EXG3
3. 36 buah elektroda
4. 1 buah sumber tegangan DC (terisi 12,5 Volt)
5. 2 buah palu geolistrik
6. 4 buah kabel 100 meter (beserta penjepit buaya)
7. 1 buah GPS
8. 1 buah multimeter
9. Wadah pengukuran sampel fluida
10. Gelas ukur 100 ml

Sementara perangkat lunak yang akan digunakan dalam pemrosesan data yakni *software Ms. Excel 2013* dan *Res2DINV*.



Gambar 3.6

Perlengkapan Alat Penelitian

### 3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur berfungsi untuk mendapatkan referensi mengenai peran sifat kelistrikan batuan dalam memetakan akuifer air tanah serta hubungan keberadaan akuifer tanah dengan jenis bentang alam dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Sedangkan tinjauan geologi untuk mengetahui kondisi umum geologi regional, satuan batuan, dan struktur geologi di wilayah penelitian agar cakupan penelitian lebih terfokus dan tepat sasaran.

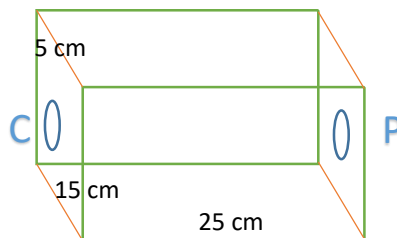
### 3.2.3 Survei Lapangan

Survei lapangan digunakan untuk meninjau langsung daerah penelitian yang akan memberikan informasi nyata di lapangan sebagai pertimbangan penentuan objek penelitian dan desain akuisisi. Survei ini juga digunakan untuk mengetahui perihal tata guna lahan dan perizinan akuisisi data di lokasi penelitian dari warga sekitar maupun pejabat setempat. Pada kegiatan ini alat yang digunakan hanya GPS sebagai penanda koordinat.

### 3.2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode primer dan sekunder. Metode primer merupakan metode pengumpulan data dengan cara melakukan pengukuran atau pengujian secara langsung. Dalam penelitian ini, pengambilan data primer dilakukan dengan pengukuran tahanan jenis langsung di lapangan dan pengukuran sampel lumpur, dengan hasil berupa nilai tahanan jenis semu lokasi penelitian dan nilai tahanan jenis hasil pengukuran sampel. Pengukuran sampel lumpur dilakukan terlebih dahulu agar hasil nilai tahanan jenis sampel menjadi referensi pada saat akuisisi data di lapangan. Metode sekunder merupakan metode pengumpulan data dari penelitian yang telah ada. Hasil dari pengumpulan data sekunder ini adalah data geologi gunung lumpur serta nilai tahanan jenis lumpur pada gunung lumpur di lokasi lain.

Pengukuran sampel lumpur dilakukan dengan terlebih dahulu mengambil sampel segar di kolam lumpur. Lumpur diambil langsung dari dalam lubang semburan sebanyak satu wadah pengukuran bersifat isolator berukuran 15cm x 5cm x 25cm hingga penuh (diilustrasikan pada gambar 3.6). Konsep wadah pengukuran mengikuti konsep pengukuran pada bahan silinder seperti pada gambar 2.3. Wadah berbahan isolator kecuali di sisi C dan P yang dilapisi dengan plat tembaga agar arus yang diinjeksikan (dari C ke P) dapat dihantarkan secara sempurna melewati sampel.



Gambar 3.7

Ilustrasi Wadah Pengukuran

Pada pengukuran ini, digunakan 3 variasi sampel berdasarkan kadar airnya. Hal ini didasari oleh penelitian Mustopa dan Risanti (2013) yang menyatakan bahwa perubahan nilai tahanan jenis relatif sebanding dengan perubahan kadar air. Adapun jenis air yang ditambahkan adalah, air yang berasal dari kolam lumpur untuk menjaga keaslian kondisi lumpur. Sementara takaran air lumpur yang ditambahkan maksimal adalah 200ml. Variasi pertama merupakan sampel lumpur yang telah diambil kemudian dikeringkan hingga sampel menjadi cukup liat. Variasi kedua merupakan sampel yang diberi air lumpur sekitar 100 ml. dan Variasi ketiga merupakan sampel yang kembali diberi air lumpur sekitar 100 ml (total dibutuhkan 200ml). Pengukuran menggunakan alat yang sama dengan pengukuran di lapangan. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap variasi sampel sehingga mendapatkan rentang nilai yang dibutuhkan. Adapun penghitungan nilai tahanan jenis semu dilakukan dengan rumus 2.1

### 3.2.5 Pemodelan

Pada penelitian ini, data hasil pengukuran lapangan berupa data potensial dan kuat arus. Data tersebut kemudian dikalkulasi untuk memperoleh nilai tahanan jenis semu. Kalkulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi Excel 2013. Data hasil kalkulasi kemudian diolah dengan metode *least square inversion* untuk mendapatkan model bawah permukaan. Pengolahan data tersebut menggunakan perangkat lunak berupa Res2DINV versi 3.54. Perangkat lunak Res2DINV versi 3.54 dikembangkan oleh perusahaan *software* Geotomo yang berpusat di Malaysia. (Geotomo, 2010).

Proses inversi pada perangkat ini secara *default* menggunakan *standart constraint*. Pengaturan perangkat penginversi dilakukan untuk mendapatkan model terbaik yang diindikasikan dengan presentase kesalahan terkecil. Berbagai pengaturan tersebut terkait parameter-parameter inversi yang dilakukan. Secara lengkap, parameter yang digunakan oleh penulis disajikan pada gambar di bawah ini

Parameter Inversi	Nilai atau Keterangan
Initial damping factor	0,16
Minimum damping factor	0,015
Vertical/Horizontal flatness ratio	1,0
Include Smoothing	Yes
Choose Logarithm of Apparent Resistivity	No (Choose Apparent Resistivity)
Number of Iteration	5
Data Inversion Constraint	Standard Constraint

Gambar 3.8 Parameter Inversi yang Digunakan Dalam Penelitian



Model inversi yang masih memiliki nilai presentase kesalahan >10% masih dapat diperkecil dengan melakukan perubahan terhadap perlakuan data. Beberapa metode yang dapat diaplikasikan melalui perangkat penginversi antara lain dengan cara *extraminate bad datum* dan *replace bad data point*. Cara pertama adalah dengan membuang data *outlier* (menyimpang dari tren), sementara cara kedua adalah dengan mengganti data yang dianggap salah dengan data hasil kalkulasi.

### **3.2.6 Analisis Model**

Setelah model berhasil diperoleh, kegiatan berikutnya adalah menganalisis model yang bertujuan untuk mendeskripsikan model. Deskripsi tersebut memberikan penjelasan berdasarkan kedalaman model, distribusi nilai tahanan jenis serta anomali – anomali yang terjadi. Pada model, nilai tahanan jenis yang berada pada rentang nilai tahanan jenis hasil pengukuran sampel diindikasikan sebagai material lumpur. Adapun yang melebihi rentang tersebut dapat diindikasikan sebagai satuan batuan yang diintrusi oleh lumpur atau sebagai satuan batuan pada formasi tempat lokasi penelitian dilakukan.

### **3.2.7 Interpretasi**

Interpretasi merupakan tahap terakhir dari penelitian ini yang menjelaskan hubungan antardeskripsi lintasan yang telah dilakukan pada analisis model. Interpretasi dilakukan untuk memberikan arti dari keseluruhan model yang ada. Pada proses interpretasi, dapat dilakukan korelasi atau zonasi sehingga penjelasan interpretasi dapat lebih sistematis. Interpretasi ini sekaligus akan menjawab permasalahan dari penelitian ini yakni persebaran material lumpur di gunung lumpur Sedati.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengumpulan Data

#### 4.1.1 Hasil Pengukuran Data Lapangan

Telah dilakukan pengukuran data tahanan jenis di gunung lumpur Sedati. Data yang terukur berupa nilai koordinat titik awal dan titik akhir lintasan pengukuran, nilai potensial (mV) dan nilai kuat arus yang diinjeksikan (mA). Pengukuran dilakukan pada daerah yang relatif datar dengan cuaca yang cerah dan kering. Hal tersebut menjelaskan bahwa gunung lumpur Sedati sama sekali tidak tergenangi oleh air permukaan sehingga keberadaan material *low resist* bisa dipastikan hanya berupa material lumpur. Berikut adalah kutipan data terukur hasil pengukuran data lapangan pada lintasan pertama N=1.

Tabel 4.1 Kutipan Data Hasil Akuisisi Pada Lintasan Pertama, N=1

Datum ke	a	A	M	N	B	V (mV)	I (mA)
1	3	0	3	6	9	36	155.00
2	3	3	6	9	12	39	185.00
3	3	6	9	12	15	39	194.00
4	3	9	12	15	18	52.1	176.00
5	3	12	15	18	21	82.3	167.00
6	3	15	18	21	24	42.6	162.00
7	3	18	21	24	27	28.7	100.00
8	3	21	24	27	30	26.6	80.00
9	3	24	27	30	33	25.4	80.00
10	3	27	30	33	36	27.1	74.00

Data di atas kemudian dikalkulasi untuk mendapatkan nilai tahanan jenis semu ( $\rho_a$ ). Pada  $N=1$  nilai faktor geometri (K) yang digunakan adalah 18.84. Sementara nilai resistansi (R) diperoleh dari pembagian nilai potensial dan kuat arus. Berikut adalah tabel hasil kalkulasi data pada tabel 4.1

Tabel 4.2 Kutipan Data Hasil Kalkulasi Lintasan 1,  $N=1$

Nilai K	V (mV)	I (mA)	R ( $\Omega$ )	$\rho_a$ ( $\Omega m$ )
18.84	36	155.00	0.23	4.38
18.84	39	185.00	0.21	3.97
18.84	39	194.00	0.20	3.85
18.84	52.1	176.00	0.30	5.58
18.84	82.3	167.00	0.49	9.28
18.84	42.6	162.00	0.26	4.95
18.84	28.7	100.00	0.29	5.41
18.84	26.6	80.00	0.33	6.26
18.84	25.4	80.00	0.32	5.98
18.84	27.1	74.00	0.37	6.90

Nilai tahanan jenis semu pada tabel 4.2 menunjukkan nilai tahanan jenis material pada titik X dan Y lintasan 1. Titik X dikontrol oleh jarak antar elektroda MN, sementara Y dikontrol oleh banyaknya variasi N dan jarak elektroda AMNB. Semakin banyak variasi N dan semakin panjang lintasan, maka penetrasi semakin dalam. Nilai tahanan jenis semu tersebut kemudian diinversi untuk menghasilkan nilai tahanan jenis sebenarnya.

#### 4.1.2 Hasil Pengukuran Sampel Lumpur di Gunung Lumpur Sedati

Selain melakukan pengukuran data di lokasi penelitian, penelitian ini juga melakukan pengukuran nilai tahanan jenis sampel lumpur gunung lumpur Sedati. Data hasil pengukuran sampel lumpur ini akan menjadi acuan saat analisis model dan interpretasi pada tahap berikutnya. Dengan mengukur sendiri nilai tahanan jenis sampel lumpur, akan meningkatkan validitas dari penelitian ini. Hasil dari pengukuran sampel lumpur di gunung lumpur Sedati ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Sampel Lumpur

Pengukuran		V (mV)	I (mA)	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
Variasi Sampel	Pengulangan ke-			
Kadar air <100 ml	1	2.2	185	3.56
	2	3,6	179	6,03
	3	2.2	179	3.68
Kadar air +-100 ml	1	0.5	180	0.83
	2	0.3	180	0.50
	3	0.5	180	0.83
Kadar air +-200 ml	1	0.1	180	0.17
	2	0.1	180	0.17
	3	0.2	180	0.30

Ditinjau dari hasil pengukuran sampel lumpur di atas dapat diketahui bahwa semakin kering (minim kadar air) sampel lumpur maka nilai tahanan jenisnya semakin tinggi. Hal tersebut juga menjelaskan bahwa lumpur akan semakin konduktif apabila semakin cair. Berdasarkan nilai tahanan jenis yang didapat, dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan jenis lumpur di area gunung lumpur Sedati memiliki nilai minimal sekitar  $0.17 \Omega\text{m}$  dan maksimal sekitar  $6,03$ . Nilai inilah yang akan dijadikan referensi utama dalam menganalisis model 2 dimensi tahanan jenis pada tahap selanjutnya.

## 4.2 Analisis Model

Hasil inversi data pengukuran tahanan jenis di lapangan menghasilkan model dengan kedalaman  $12.9 \text{ m}$ . Penggunaan inversi *standart constraint* menghasilkan model yang tidak terlalu sensitif terhadap struktur, sehingga model lebih bergradasi. Metode ini dipilih karena peningkatan sensitivitas terhadap struktur akan membuat persebaran lumpur terlihat lebih kaku pada model dan *blocky* yang tidak sesuai dengan material lumpur yang cenderung plastis. Selain itu, presentase kesalahan dari model adalah kurang dari 10% untuk semua lintasan, sehingga dapat dikatakan bahwa validitas model lebih dari 90%.

Pada model lintasan 1 (gambar 4.1) dengan presentase kesalahan 7% memiliki orientasi arah timur – barat dengan elektroda pertama terletak paling timur. Material terindikasi lumpur ditunjukkan dengan warna biru gelap hingga hijau gelap dengan nilai skala tahanan jenis (telah diseragamkan untuk semua lintasan) sekitar  $0.1 \Omega\text{m}$  –  $6,22 \Omega\text{m}$ . Rentang nilai tersebut selisih  $0,19 \Omega\text{m}$  lebih besar dan  $0,07 \Omega\text{m}$  dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran uji sampel karena material terukur di lapangan dengan sampel lumpur tidak identik 100%. Adapun material dengan nilai tahanan jenis tinggi (diindikasikan berwarna

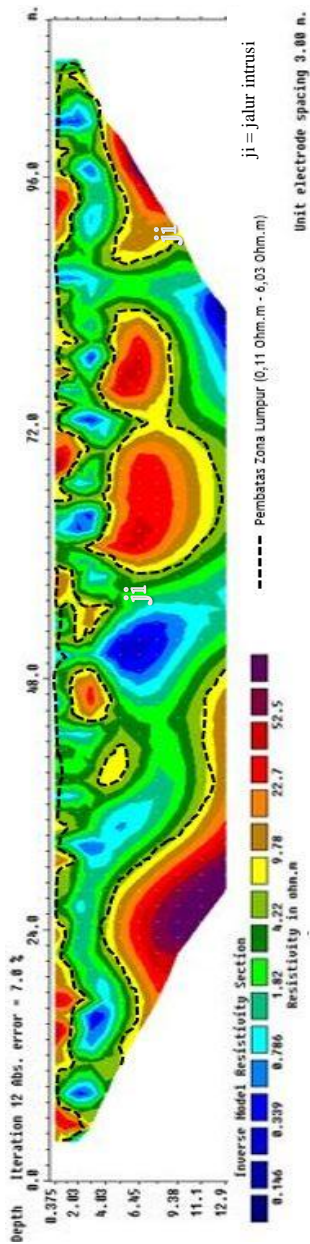
kuning hingga ungu) belum dapat diindikasikan sebagai batuan tertentu karena tidak ada singkapan batuan yang dapat diuji nilai tahanan jenisnya.

Ditinjau dari model lintasan 1, diperoleh informasi bahwa material terindikasikan lumpur memiliki tebal minimal 6,45 m dan menebal (mencapai batas kedalaman model) mulai dari meter ke 33 hingga akhir lintasan ke arah barat Penebalan tersebut dapat diasumsikan sebagai jalur intrusi lumpur, dikarenakan nilai tahanan jenisnya kurang dari  $1 \Omega$  menunjukkan bahwa material terindikasikan lumpur bersifat lebih cair (segar). Sementara itu, nilai tahanan jenis pada rentang nilai  $1 - 6 \Omega\text{m}$  mengindikasikan material terindikasikan lumpur lebih kering Kondisi lumpur yang demikian tidak dapat dilihat langsung di permukaan.

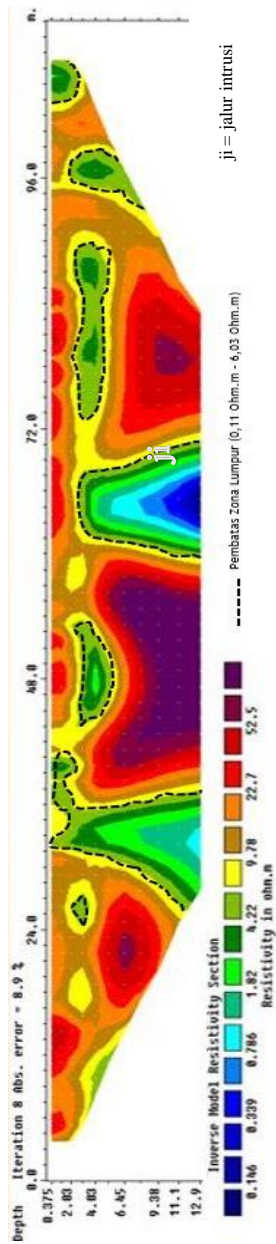
Pada model lintasan 2 (gambar 4.2) dengan presentase kesalahan 8,9% memiliki orientasi arah timur – barat dengan elektroda pertama terletak paling timur. Lintasan pertama dan kedua memiliki panjang yang sama, sehingga keberadaan lumpur dapat dikorelasikan. Material terindikasikan lumpur ditunjukkan dengan warna biru gelap hingga hijau gelap dengan nilai skala tahanan jenis (telah diseragamkan untuk semua lintasan) sekitar  $0.1 \Omega\text{m} - 6,22 \Omega\text{m}$

Ditinjau dari model lintasan 2, diperoleh informasi bahwa pada lintasan ini, keberadaan material terindikasikan lumpur sangat jarang. Keberadaan material terindikasikan lumpur baru dapat ditemukan pada meter ke 34,5 hingga ke 42 setebal 12,9 m. Material terindikasikan lumpur kedua kemudian ditemukan kembali pada kedalaman 4,03 pada meter ke 45 hingga 52,5 setebal 2,42 m. Material terindikasikan lumpur ketiga ditemukan pada kedalaman 4,03 pada meter ke 61,5 hingga 67,5 m setebal 6,45. Keberadaan material terindikasikan lumpur di titik ini diasumsikan sebagai jalur intrusi namun terhalang oleh material lain yang lebih padat sehingga tidak mampu membentuk pola menyebar seperti pada lintasan pertama. Material terindikasikan lumpur keempat memiliki tebal yakni 2,42 m yang memanjang mulai dari meter ke 73,5 hingga meter ke 90. Di ujung barat lintasan, material terindikasikan lumpur pada meter ke 96 hingga 99 namun ketebalan lumpur tidak dapat diindikasikan setara dengan material lumpur lain, karena penetrasi hanya mencapai 9,38  $\Omega\text{m}$ .

Keberadaan material terindikasikan lumpur yang amat jarang pada lintasan ke dua dapat dijadikan asumsi awal pada saat interpretasi sebagai zona keras yang tidak dapat diintrusi oleh lumpur. Asumsi lain yang juga bisa memberikan penjelasan minimnya keberadaan lumpur pada lintasan ini adalah karena material lumpur telah mengering. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada awal bab ini, bahwa pengukuran dilakukan saat cuaca kering dan cerah sehingga memungkinkan lumpur untuk mengering. Hal tersebut juga terlihat bahwa antara material terindikasikan lumpur satu sama lain terdapat penghubung suatu material bernilai tahanan jenis sedang (berwarna kuning hingga oranye) yang dimungkinkan dapat berubah nilai tahanan jenisnya saat tersaturasi oleh air.



Gambar 4.1 Hasil model inversi 2D lintasan 1, *Abs.Error* = 7 %

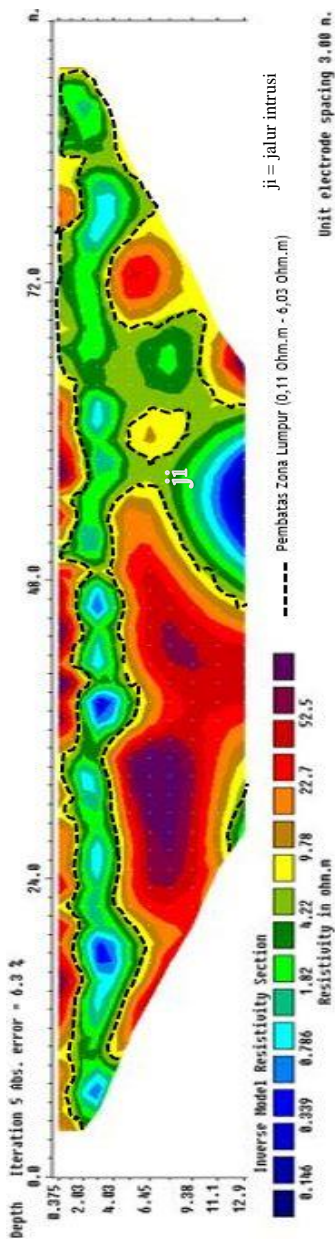


Gambar 4.2 Hasil model inversi 2D lintasan 2, *Abs.Error* = 8,9 %

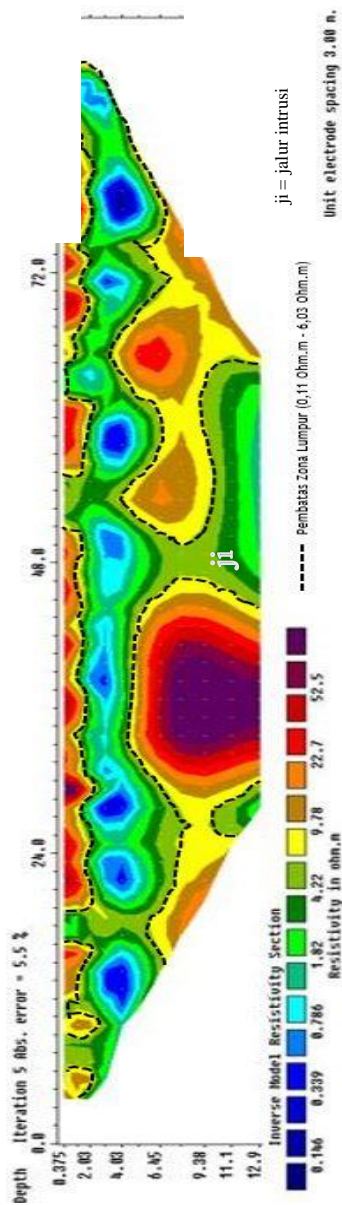
Pada model lintasan 3 dan 4 (gambar 4.3 dan gambar 4.4) dengan presentase kesalahan berturut-turut adalah 6,3 % dan 5,5 % memiliki orientasi arah timur – barat dengan elektroda pertama terletak paling timur. Lintasan ketiga dan keempat ini memiliki panjang yang sama, sehingga keberadaan lumpur dapat dikorelasikan. Material terindikasi lumpur ditunjukkan dengan warna biru gelap hingga hijau gelap dengan nilai skala tahanan jenis (telah diseragamkan untuk semua lintasan) sekitar  $0.1 \Omega\text{m} - 6,22 \Omega\text{m}$ . Rentang nilai tersebut selisih  $0,19 \Omega\text{m}$  lebih besar dan  $0,07 \Omega\text{m}$  dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran uji sampel karena material terukur di lapangan dengan sampel lumpur tidak identik 100%. Adapun material dengan nilai tahanan jenis tinggi (diindikasikan berwarna kuning hingga ungu) belum dapat diindikasikan sebagai batuan tertentu karena tidak ada singkapan batuan yang dapat diuji nilai tahanan jenisnya.

Kedua lintasan ini memiliki penampakan model yang hampir mirip karena terdapat kantong material terindikasi lumpur di kedalaman 12,9 m yang kemudian menyebar ke sepanjang lintasan dengan tebal yang berbeda. Pada kedua lintasan ini, penulis mengasumsikan adanya jalur intrusi (ji) lumpur di meter ke 55,5 pada lintasan ketiga dan pada meter ke 48 pada lintasan keempat. Jalur intursi lumpur tersebut berada pada sisi barat lintasan. Adapun keberadaan material yang dicirikan dengan warna kuning hingga oranye di sekitar jalur intrusi diasumsikan sebagai batuan tertentu yang tidak dapat diterobos oleh material lumpur.

Pada lintasan ketiga, keberadaan material terindikasi lumpur tersebut baru ditemukan pada kedalaman 2,03 m dari permukaan dengan tebal maksimal 6,45 m. Sementara pada lintasan keempat, tebal maksimal dari kantong-kantong lumpur tersebut lebih tebal dibandingkan lintasan ketiga yakni 9,38 m dari permukaan. Kantong-kantong lumpur pada kedua lintasan telah mencapai permukaan pada beberapa titik. Seperti pada meter ke 72 lintasan ketiga dan meter ke 3 lintasan ke empat. Material terindikasi lumpur tersebut dicirikan dengan warna hijau gelap yang dapat diasumsikan bahwa lumpur hampir mengering atau dapat diasumsikan pula sebagai rembesan lumpur di permukaan saja.



Gambar 4.3 Hasil model inversi 2D lintasan 3,  $Abs.Error = 6,3 \%$



Gambar 4.4 Hasil model inversi 2D lintasan 4,  $Abs.Error = 5,5 \%$

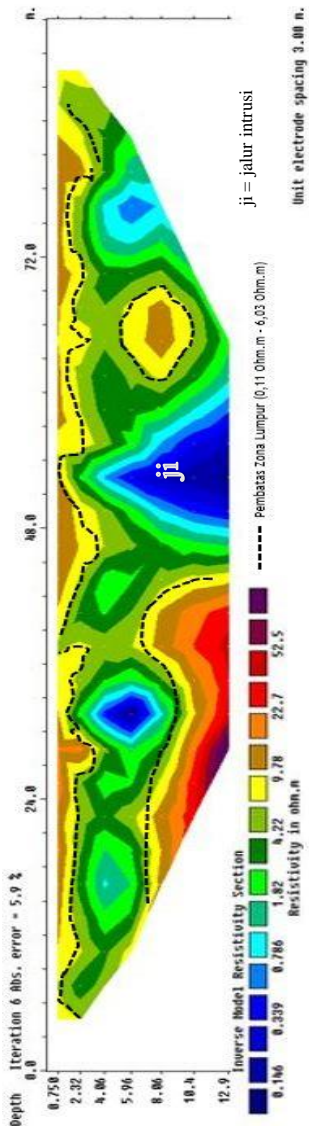


Pada model lintasan 5 dan 6 (gambar 4.5 dan gambar 4.6) dengan presentase kesalahan berturut-turut adalah 5,9 % dan 4,4 % memiliki orientasi arah utara – selatan dengan elektroda pertama terletak paling timur. Lintasan kelima dan keenam ini memiliki panjang yang sama, sehingga keberadaan lumpur dapat dikorelasikan. Material terindikasi lumpur ditunjukkan dengan warna biru gelap hingga hijau gelap dengan nilai skala tahanan jenis (telah diseragamkan untuk semua lintasan) sekitar  $0.1 \Omega\text{m} - 6,22 \Omega\text{m}$ . Rentang nilai tersebut selisih  $0,19 \Omega\text{m}$  lebih besar dan  $0,07 \Omega\text{m}$  dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran uji sampel karena material terukur di lapangan dengan sampel lumpur tidak identik 100%. Adapun material dengan nilai tahanan jenis tinggi (diindikasikan berwarna kuning hingga ungu) belum dapat diindikasikan sebagai batuan tertentu karena tidak ada singkapan batuan yang dapat diuji nilai tahanan jenisnya.

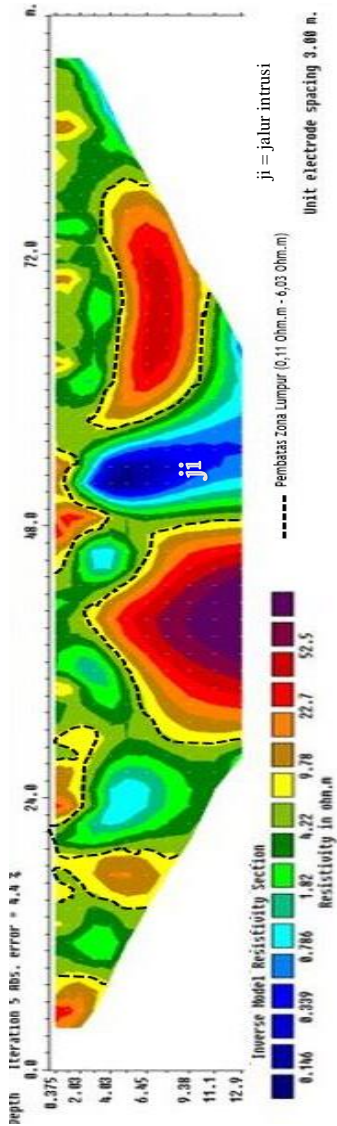
Kedua lintasan ini memiliki penampakan model yang hampir mirip karena terdapat kantong material terindikasi lumpur di kedalaman 12,9 m yang kemudian menyebar ke sepanjang lintasan dengan tebal yang berbeda. Pada kedua lintasan ini, penulis mengasumsikan adanya jalur intrusi (ji) lumpur di meter ke 56 pada lintasan kelima dan pada lintasan keenam. Jalur intursi lumpur tersebut berada pada sisi barat lintasan. Adapun keberadaan material yang dicirikan dengan warna kuning hingga oranye diasumsikan sebagai batuan tertentu yang tidak dapat diterobos oleh material lumpur.

Lintasan kelima merupakan lintasan yang paling dekat dengan lokasi kolam lumpur, tepatnya 4 meter di sisi barat kolam lumpur. Elektroda yang bersebelahan dengan kolam tersebut terletak pada meteri ke 18 dan ke 21. Pada meter tersebut, keberadaan lumpur ditemukan pada kedalaman kurang dari 2 meter (sangat dekat dengan permukaan). Material terindikasi lumpur setebal 8,06 m ditemukan pada sepanjang lintasan hingga meter ke 56 yang dikarenakan merupakan jalur intrusi maka lumpur ditemukan hingga kedalaman 12,9 m. Pada lintasan ini sangat dominan dengan material terindikasi lumpur, hal ini kemungkinan karena lokasi lintasan berada di tengah area gunung lumpur.

Sementara lintasan keenam merupakan lintasan yang paling dekat dengan pemukiman warga di bagian barat area gunung lumpur Sedati. Karena sebab tersebut, identifikasi lumpur di bagian barat ini cukup urgen dilakukan. Sama seperti lintasan kelima, lintasan keenam juga didominasi oleh material terindikasi lumpur. Hal ini sangat relevan dengan kondisi di lapangan bahwa di bagian barat area gunung lumpur ini lebih berbukit dan ditemukan banyak rembesan lumpur. Material terindikasi lumpur ditemukan mulai meter ke 7 hingga akhir lintasan dengan tebal bervariasi mulai 4,45 m hingga 12,9 m. Meskipun demikian, jalur intrusi yang diasumsikan penulis hanya terletak pada meter ke 56 dikarenakan disana terdapat material terindikasi lumpur yang masih cair (kadar air tinggi, dicirikan dengan warna biru) yang menandakan lumpur masih segar.



Gambar 4.5 Hasil model inversi 2D lintasan 5,  $Abs.Error = 5,9\%$

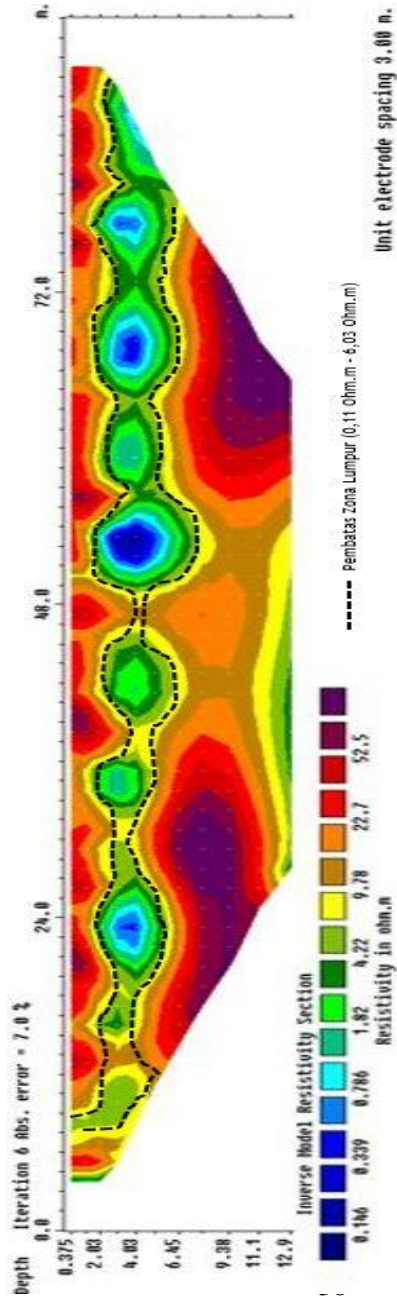


Gambar 4.6 Hasil model inversi 2D lintasan 6,  $Abs.Error = 4,4\%$

Pada model lintasan 7 (gambar 4.7) dengan presentase kesalahan adalah 7 % memiliki orientasi arah utara – selatan dengan elektroda pertama terletak paling timur. Lintasan ketujuh ini memiliki panjang yang sama dengan lintasan kelima dan keenam, sehingga keberadaan lumpur dapat dikorelasikan. Material terindikasi lumpur ditunjukkan dengan warna biru gelap hingga hijau gelap dengan nilai skala tahanan jenis (telah diseragamkan untuk semua lintasan) sekitar  $0.1 \Omega\text{m} - 6,22 \Omega\text{m}$ . Rentang nilai tersebut selisih  $0,19 \Omega\text{m}$  lebih besar dan  $0,07 \Omega\text{m}$  dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran uji sampel karena material terukur di lapangan dengan sampel lumpur tidak identik 100%. Adapun material dengan nilai tahanan jenis tinggi (diindikasikan berwarna kuning hingga ungu) belum dapat diindikasikan sebagai batuan tertentu karena tidak ada singkapan batuan yang dapat diuji nilai tahanan jenisnya.

Lintasan ketujuh merupakan terletak paling timur dari lokasi penelitian. Lintasan ini terletak tepat di sisi barat dari pemukiman warga. Tujuan pemilihan lokasi ini adalah untuk mengetahui keberadaan lumpur di area paling rendah dari lokasi penelitian yang juga merupakan daerah paling gersang seperti yang ditampilkan pada gambar 3.3. Lintasan ini menjadi pintu bagi penelitian berikutnya terkait perluasan lokasi ke arah timur.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa di lintasan ketujuh, material terindikasi lumpur ditemukan di sepanjang lintasan. Material terindikasi lumpur ditemukan rata-rata pada kedalaman 2 meter dengan tebal yang relatif seragam mencapai 4,45 m. Material tersebut juga membentuk rangkaian buatan seperti suatu kantong-kantong yang saling berhubung. Penghubung tersebut kemungkinan besar dapat terlihat saat sepanjang lintasan tersaturasi air akibat hujan.



Gambar 4.7 Hasil model inversi 2D lintasan 7,  $Abs.Error = 7\%$

## 4.3 Pembahasan

### 4.3.1 Rentang Nilai Tahanan Jenis Lumpur

Berdasarkan hasil pengukuran sampel lumpur pada tabel 1 diperoleh rentang nilai 0,17  $\Omega$ m – 6,033  $\Omega$ m. Nilai tersebut menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik dengan banyaknya kadar air. Sementara hasil inversi data pengukuran lapangan berada pada rentang nilai 0,0  $\Omega$ m – 6,22  $\Omega$ m. Perbedaan nilai tersebut diakibatkan sampel lumpur tidak identik 100% dengan kondisi asli lumpur di lapangan. Di sisi lain, adanya presentase nilai kesalahan yang lebih dari 0% juga menandakan bahwa nilai tahanan jenis hasil inversi adalah nilai pendekatan. Meskipun demikian, selisih keduanya tidak terlalu mencolok sehingga masih dapat digunakan sebagai acuan. Rentang nilai tersebut dapat digolongkan sebagai nilai *low resist*, artinya, keberadaan sebaran nilai tahanan jenis rendah dapat diindikasikan sebagai lumpur.

### 4.3.2 Penentuan Persebaran Lumpur

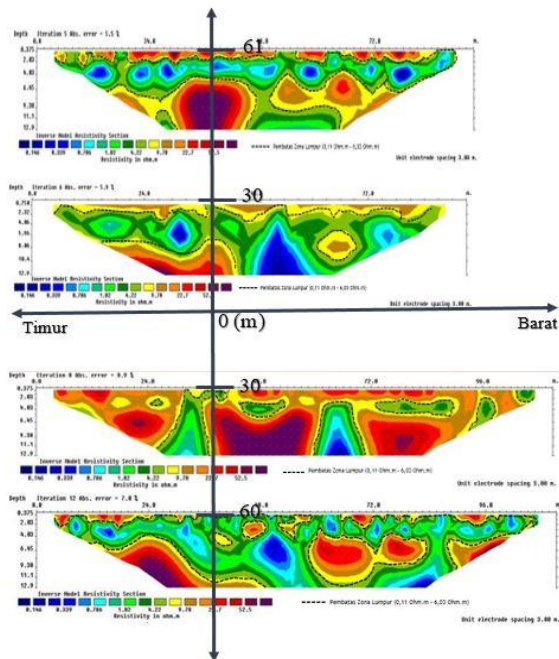
Area gunung lumpur Sedati secara keseluruhan merupakan bukit seluas 6,3 Ha dengan elevasi di titik tertingginya adalah 16 m (berdasarkan GPS). Gunung lumpur Sedati terdiri dari gundukan – gundukan kecil yang terbentuk akibat desakan intrusi lumpur sebagaimana terjadi pada gunung lumpur pada umumnya. (Hurun, 2016). Adapun lumpur yang berhasil mencapai permukaan dapat berupa rembesan atau bahkan kolam lumpur. Keberadaan kolam lumpur berdasarkan hasil survei lapangan hanya dapat ditemui di satu tempat yakni 2 meter di sisi timur lintasan kelima meter ke 18 dan 21. Kolam lumpur tersebut menjadi kunci bagi penelitian ini terkait sumber sampel lumpur yang dijadikan bahan pengukuran nilai tahanan jenis. Selain kolam lumpur, rembesan lumpur banyak sekali dijumpai baik hampir merata di semua sisi gunung lumpur Sedati.

Penampakan morfologi bukit gunung lumpur Sedati memang sudah bukan dalam penampakan aslinya karena banyak tanah yang telah diambil oleh masyarakat sekitar. Penampakan lain di permukaan adalah adanya lahan yang gersang dan lahan yang ditumbuhi rerumputan liar. Lahan gersang tidak dapat menjadi media tanam yang baik diduga karena terpapar debu yang tebal, sementara lahan yang ditumbuhi rerumputan kemungkinan disebabkan dnegan paparan lumpur yang dalam beberapa kondisi baik bagi tumbuhan. (Erwiyansyah dkk., 2015). Berdasarkan analisis kondisi permukaan tersebut, maka keberadaan lumpur diduga kuat menyebar ke arah barat utara (ditandai banyaknya gundukan dan rerumputan liar) dengan arah migrasi lumpur berasal dari timur.

Pola persebaran lumpur di alam bisa sangat beragam, baik dengan persebaran berorientasi satu arah maupun meluas ke seluruh arah. Pola tersebut mengikuti arah patahan atau rekahan yang menjadi jalan bagi material lumpur untuk bermigrasi dan letak dominan lumpur. Pola persebaran tersebut pada umumnya

ditentukan dengan mengetahui letak sumber munculnya lumpur. Namun dikarenakan sumber lumpur berasal dari formasi yang cukup dalam dan tidak dapat dijangkau oleh metode ini, maka penentuan pola persebaran lumpur hanya pada lapisan yang terdekat dengan permukaan (Satyana dan Asnidar, 2008; Amelinda dan Santosa, 2016; Burhanuddinnur, 2016).

Pola persebaran lumpur diasumsikan dengan model persegi sesuai dengan desain akuisisi pengukuran. Adapun luas lokasi penelitian adalah 2 Ha, maka interpretasi juga dilakukan untuk daerah seluas itu pula. Adapun titik tengah dari lokasi penelitian berada pada koordinat  $7^{\circ}23'59,70''$  S dan  $112^{\circ}47'20,14''$  E. Pola persebaran pada lokasi penelitian diinterpretasikan kedalam dua bagian, yakni bagian barat area dan timur area sesuai koordinat kartesian. Penentuan zona ini akan membantu menjelaskan maksud interpretasi penulis. Secara ilustratif, digambarkan pada gambar 4.8

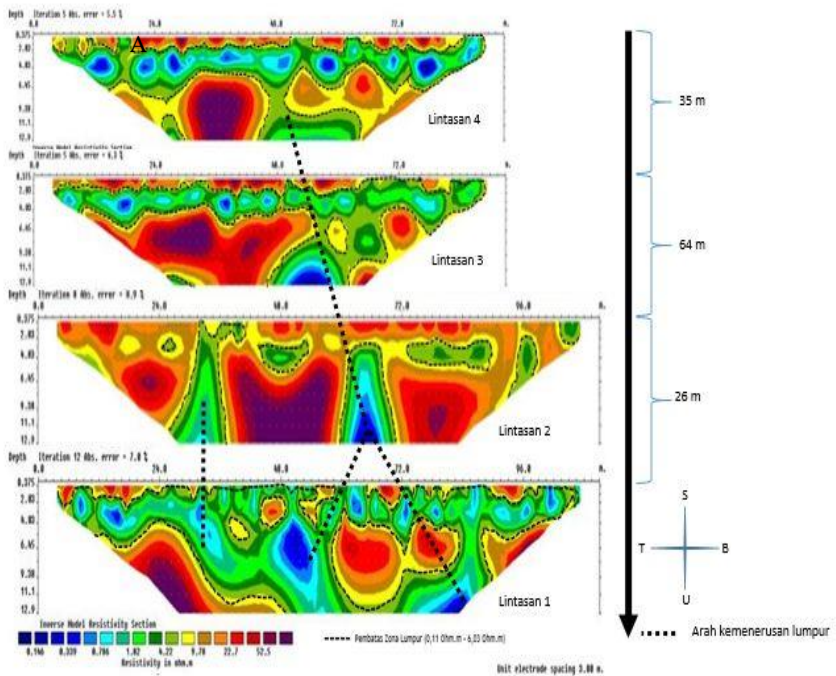


Gambar 4.8 Korelasi Model Lintasan untuk Zonasi

Pada gambar 4.8, titik tengah lokasi penelitian terletak di antara lintasan 2 dan lintasan 3, dimana masing-masing berjarak sekitar 30 m dari titik tengah. Titik tengah tersebut juga membagi setiap lintasan menjadi dua bagian yakni

bagian timur (dari elektroda 1 – 13) dan bagian barat (dari elektroda 13 – terakhir). Sehingga dalam interpretasi di bawah ini, istilah barat lintasan menunjukkan bagian lintasan dari elektroda ke 13 hingga elektroda terakhir dan istilah timur lintasan menunjukkan bagian lintasan dari elektroda pertama.

Berikut adalah interpretasi untuk seluruh lapisan dengan orientasi barat dan timur. Korelasi antarlintasan dapat dilihat pada gambar 4.9. Semua lintasan telah diletakkan di posisi dan skala warna yang telah disamakan. Sisi kanan model terdapat garis lurus yang menjelaskan jarak antar lintasan (dalam meter). Sementara garis putus-putus tipis adalah pembatas dari material terindikasi lumpur dengan material lain. Adapun garis putus-putus tebal menjelaskan kemenerusan jalur intrusi lumpur dari utara ke selatan.



Gambar 4.9 Korelasi Model Lintasan 1- 4

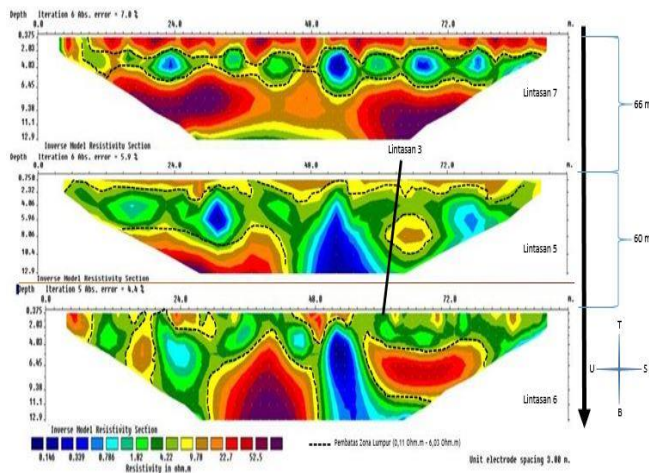
Sesuai dengan sifat fluida yang cenderung mengalir ke tempat yang bertekanan rendah dan mengisi ruang kosong, maka adanya material lumpur pada kedalaman dekat permukaan dianggap sebagai hasil dari intrusi lumpur. Jalur intrusi merupakan rekahan yang memungkinkan lumpur untuk menerobos ke permukaan karena perbedaan tekanan (Hurun,2016). Adanya intrusi lumpur adalah sebab utama terbentuknya gunung lumpur (Satyana dan Asnidar, 2008).

Oleh karena itu, pembahasan dalam penelitian ini menjadikan jalur intrusi lumpur sebagai *focus discussion*.

Jalur-jalur intrusi dapat ditemukan pada setiap lintasan pada gambar 4.9 disebabkan letak jalur intrusi tersebut berada pada satu garis hubung (seperti pada gambar 4.9), maka dapat diinterpretasi bahwa jalur intrusi tersebut memiliki kemenerusan sepanjang utara hingga selatan lokasi penelitian. Ditinjau dari aspek dominasinya, lumpur lebih dominan menyebar ke arah barat karena jalur intrusi banyak di temukan di barat lintasan.

Jalur intursi lain ditemukan hanya pada lintasan 1 dan 2 di timur lintasan, tepatnya pada meter ke 34,5. Pada meter yang sama di lintasan 4 sebenarnya dapat juga dianggap sebagai jalur intrusi namun lebih tipis dibandingkan yang lain. Ditinjau dari hal tersebut, terdapat kemungkinan bahwa pada meter 34,5 juga ditemukan jalur intrusi sepanjang utara-selatan. Anomali tersebut diduga karena dua sebab, yang pertama karena keterbatasan jangkauan model (secara vertikal maupun horizontal) maupun disebabkan sekitar meter tersebut bebatuan lebih keras sehingga memang tidak dapat dintrusi.

Berikutnya adalah interpretasi untuk seluruh lintasan berorientasi arah utara-selatan. Semua lintasan tersebut telah dikorelasikan seperti ditunjukkan pada gambar 4.10. Pada sisi kanan model juga terdapat garis lurus yang menjelaskan jarak antar lintasan (dalam meter). Sementara garis putus-putus tipis adalah pembatas dari material terindikasi lumpur dengan material lain. Lain halnya dengan lintasan 1 – 4, untuk bagian barat lintasan hanya terdapat lintasan 6 dan bagian timur lintasan adalah lintasan 5 dan 7.

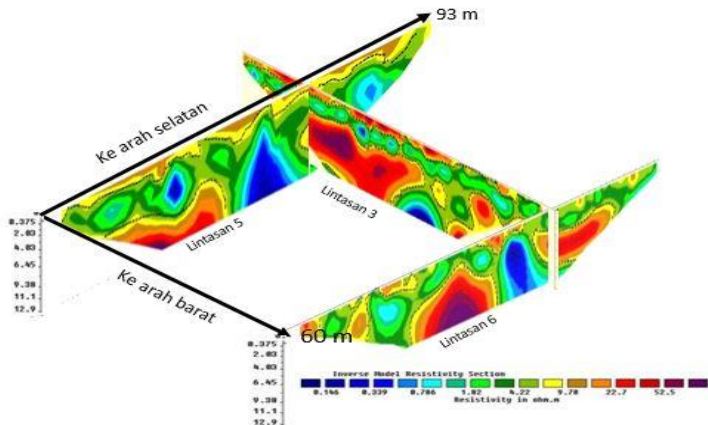


Gambar 4.10 Korelasi Model Lintasan 5- 7



Berdasarkan gambar 4.10 di atas, dapat dilihat bahwa jalur intrusi memiliki kemenerusan seperti pada korelasi empat lintasan sebelumnya. Hanya saja, jalur intrusi tersebut tidak ditemukan pada lintasan ketujuh. Adapun dominasi material terindikasi lumpur pada lintasan kelima dan keenam dikaitkan dengan keberadaan jalur intrusi tersebut.

Interpretasi berikutnya dilakukan pada lintasan yang saling berpotongan yakni lintasan 3, 5 dan 6. Lintasan ketiga telah memberikan anomali berupa nihilnya jalur intrusi di timur lintasan, dimana pada model lintasan lain di meter ke 34,5 terdapat jalur intrusi. Pada korelasi berpotongan di bawah ini, anomali tersebut dapat dijelaskan. Pada bagian yang berpotongan di lintasan ke lima, terdapat anomali lingkaran kuning (lihat gambar 4.10) di dekat jalur intrusi. Namun bila ditinjau dari gambar 4.11, kita akan mendapat penjelasan bahwa lingkaran kuning tersebut merupakan bagian dari lintasan 3 yang tidak diintrusi oleh lumpur. Atas dasar itulah, ada kemungkinan bahwa di timur lintasan 3 tidak terdapat jalur intrusi karena adanya material lain yang menghalanginya.



Gambar 4.11 Korelasi Berpotongan Model Lintasan 3, 5 dan 6

Berdasarkan hasil interpretasi di atas, dapat dinyatakan ulang bahwa persebaran lumpur tergantung pada keberadaan jalur intrusi. Berdasarkan zonasi yang telah dibuat, maka persebaran lumpur di gunung lumpur Sedati dominan ke arah barat. Akan tetapi, awal persebarannya bermula diantara lintasan 5 dan 7. Kesimpulan lain yang dapat diambil adalah bahwa pada semua lintasan, penyebaran lumpur sangat dekat dengan permukaan dengan ketebalan bervariasi. Sehingga dapat dinyatakan ulang bahwa lumpur menyebar rata seluas lokasi penelitian (2 Ha) dengan bagian paling dominan berada di barat lintasan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan terkait masalah yang dikemukakan sebagai berikut:

1. Besar nilai tahanan jenis lumpur pada gunung lumpur Sedati berkorelasi terbalik terhadap kadar air dengan rentang nilai  $0,17 \Omega\text{m} - 6,033 \Omega\text{m}$ .
2. Hasil identifikasi persebaran lumpur di lokasi penelitian menyatakan bahwa lumpur menyebar rata seluas lokasi penelitian (2 Ha) dengan jalur intrusi lumpur banyak ditemukan berada di barat lintasan.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran agar penelitian selanjutnya dapat menjadi lebih baik adalah:

1. Menambah panjang lintasan sehingga lokasi penelitian dapat mencakup seluruh area gunung lumpur Sedati
2. Pemodelan dilakukan hingga 3 dimensi sehingga ketebalan dan persebaran lumpur dapat diinterpretasi lebih baik
3. Penelitian dilengkapi dengan peta topografi agar dapat meningkatkan interpretasi hasil pemodelan

*HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN*

## LAMPIRAN



Gambar 1. Gundukan Kecil di Atas Bukit Gunung Lumpur Sedati di Sisi Timur Kolam Lumpur Menghadap Barat



Gambar 2. Sisi Timur Kolam Lumpur Menghadap Utara yang Termasuk Zona Dalam.



Gambar 3. (A) Salah Satu Patokan Tanah Kavling di Sisi Selatan Gunung Lumpur; (B) Lingkaran Kuning Merupakan Deretan Patokan Tanah Sisi Barat Gunung Lumpur



Gambar 4. Sisi Selatan Gunung Lumpur Sedati.

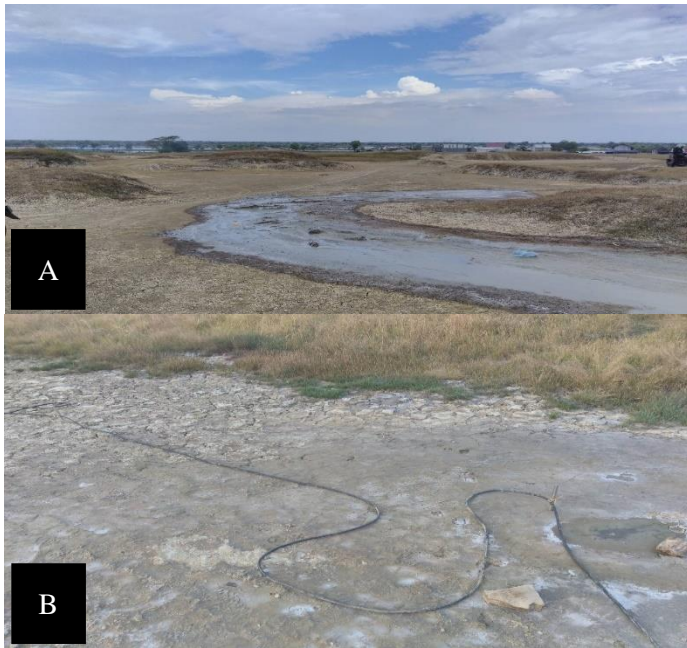


Gambar 5. Pemakaman di Sisi Timur Gunung Lumpur Sedati Menghadap Utara

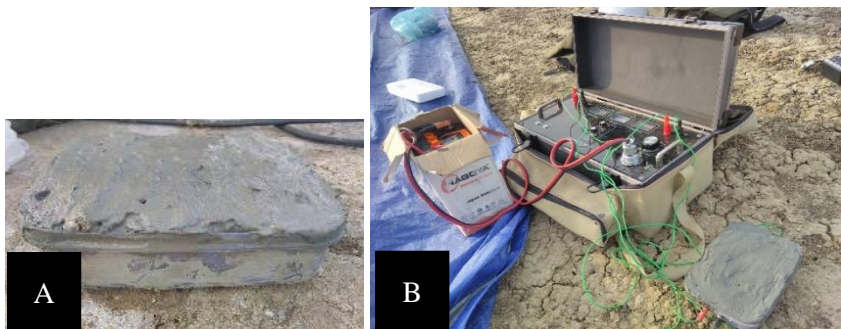


Gambar 6. Penulis Melakukan Akuisisi Bersama Relawan Pengukuran





Gambar 7. (A) Aliran Lumpur Menuruni Bukit ke Sisi Timur Gunung Lumpur Sedati; (B) Rembesan Lumpur di Dataran Sisi Timur Gunung Lumpur



Gambar 9. (A) Sampel Lumpur dalam Wadah Khusus; (B) Pengukuran Menggunakan Alat Geolistrik

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelinda, K. dan Santosa, B.J. (2016), *Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik*, Jurnal Sains dan Seni ITS, Vol.5, No.1, hal. B6–B10.
- Arsyadi, A.Q. (2017), *Identifikasi Persebaran Air Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Arwananda, A.P. (2016). *Efek Patahan Watukosek Pada Geomorfologi Kali Porong Dengan Metode Resistivitas Jenis 2D*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Arwananda, A.P., Aryaseta, B., Dezulfakar, H., Fatahillah, Y., dan Rochman, J.P.G.N. (2017), *Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud Volcano Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud*, South Asian Conference on Geophysics, IOP Publishing,.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), *The Geology of Indonesia: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Government Printing Office The Hague.
- Burhanuddinnur, M. (2016), *Mud Volcano Cekungan Jawa Timur*, Jakarta.
- Chai, T. dan Draxler, R.R. (2014), *Root mean square error ( RMSE ) or mean absolute error ( MAE )? – Arguments against avoiding RMSE in the literature*, *Geoscientific Model Development*, Vol.7, No.2005, hal. 1247–1250.
- Erwiyansyah, M.J., Guritno, B. dan W, K.P. (2015), *Studi Pengaruh Campuran Lumpur Lapindo Sebagai Media Tanam Terhadap Kandungan Logam Berat Dan Pertumbuhan Sawi Hijau ( Brassica juncea L. )*, Jurnal Produksi Tanaman, Vol.3, No.7, hal. 590–599.
- Geotomo (2010), *RES2DINV ver. 3.59* 3.59. Penang, Malaysia.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Jakarta.
- Hurun, N. (2016), *Analisis Data Geolistrik Resistivitas Untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan*, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Karisma, Uci. (2016). *Pola Distribusi Resistivitas Bawah Permukaan Situs Megalitikum Dengan Metode Geolistrik Res3D Di Kecamatan Grujungan Kabupaten Bondowoso*. Universitas Jember. Jember.
- Lida Maulida (2013), *Geolistrik*, FST UIN Sunan Gunung Djati, Bandung.



- Loke, M.H. (2004), *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Survey*. Alberta University
- Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, Second Edition., Cambridge University Press, Cambridge.
- Mazzini, A., Etiope, G. dan Svensen, H. (2012), *A new hydrothermal scenario for the 2006 Lusi eruption , Indonesia . Insights from gas geochemistry*, Earth and Planetary Science Letters, Vol.317–318, No.May 2006, hal. 305–318.
- Mazzini, A., Nermoen, A., Krotkiewski, M., Podladchikov, Y., Planke, S. dan Svensen, H. (2009), *Strike-Slip Faulting As A Trigger Mechanism For Overpressure Release Through Piercement Structures . Implications For The Lusi Mud Volcano, Indonesia*, Marine and Petroleum Geology, Vol.26, No.9, hal. 1751–1765.
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G. dan Planke, S. (2007), *Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano , Indonesia*, Vol.261, No.May, hal. 375–388.
- Mustopa, R.S. dan Risanti, D.D. (2013), *Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika*, Jurnal Teknik POMITS, Vol.2, No.2, hal. F256–F261.
- Paulus (2012), *Pemodelan 3D Cavity Daerah “ X ” Dengan Menggunakan Metode Resistivity Konfigurasi Dipole-Dipole SKRIPSI Pemodelan 3D Cavity Daerah “ X ” Dengan Menggunakan Metode*, Universitas Indonesia.
- Rohmana, J., Akmam dan Mahrizal (2015), *Identifikasi Jenis Batuan Menggunakan Inversi Marquardt Data Geolistrik Tahnan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole Kecamatan Padang Selatan*, Pillar of Physics, Vol.6, hal. 49–56.
- Saidah, H.D., Suryo, E.A. dan Suroso (1991), *Pengaruh Kadar Air Tanah Lempung Terhadap Nilai Resistivitas / Tahanan Jenis pada Model Fisik dengan Metode ERT ( Electrical Resistivity Tomography )*.
- Santoso, R.W., Sholichin, M., Primantyo, A. dan Maryanto, S. (2013), *Dengan Metode Geolistrik dan GPR ( Ground Penetrating Radar ) Di Kota Batu*, Universitas Brawijaya.
- Satyana, A.H. dan Asnidar (2008), *Mud Diapir And Mud Volcanoes In Depressions of Java to Madura: Origins, Natures, and Implications to Petroleum System*, IPA 32th, hal. IPA08-G-139,.
- Supandjono, J., K. Hasan, Panggabean, H., Satria, D. dan Sukardi (1992), *Lembar Geologi Surabaya - Sapulu*.
- Susilohadi (1995), *Late Tertiary and Quaternary Geology of the East Java Basin, Indonesia*, University of Wollongong, New South Wales.
- Syaifuddin, F., Bahri, A.S., Lestari, W. dan Pandu, J. (2016), *Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano , Surabaya , East Java*, Vol. 050004.

- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, Second., Cambridge University Press, Cambridge.
- Willmott, C.J. dan Matsuura, K. (2005), *Advantages of the mean absolute error ( MAE ) over the root mean square error ( RMSE ) in assessing average model performance*, Center for Climatic Research, Vol.30, hal. 79–82.
- Winarti (2013), *Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Akuifer Airtanah Di Daerah Sulit Air ( Studi Kasus Di Kecamatan Takeran , Poncol Dan Parang , Kabupaten Magetan )*, Vol.5, hal. 83–94.

*HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN*

## PROFIL PENULIS



Penulis bernama lengkap Mochammad Ferdion Firdaus lahir di Lumajang pada tanggal 18 Februari 1996 dan merupakan anak tunggal. Penulis pernah bersekolah di SD Negeri Senduro 01 Lumajang (2002 – 2008), di SMP Luqman al Hakim Ponpes Hidayatullah Surabaya (2008 – 2011), serta di SMA Negeri 15 Surabaya (2011 – 2014). Penulis menempuh pendidikan sarjana di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (DTG ITS) Surabaya sejak tahun 2014 hingga 2018.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan keilmiah bidang geofisika sebagai peserta maupun panitia seperti Joint Convension Malang of Geoscience Conference 2017 (sebagai salah satu *oral presenter*), berbagai riset (akuisisi) dan kuliah tamu. Selama kuliah di Departemen Teknik Geofisika ITS, penulis pernah melakukan pengukuran dan pengolahan data untuk metode gaya berat, magnetik, VLF, seismik refraksi, magnetotellurik, geolistrik (IP, SP, VES dan *Resistivity*), mikrotremor, GPR, serta pengolahan data *well log*. Minat penulis pada bidang industri energi dan *near surface exploration* diwujudkan dalam berbagai kegiatan pelatihan, PKL, *field trip* serta kompetisi seperti pelatihan JSA oleh PT. Gilbert Management, Kerja praktik di PT. PLN Geothermal dan PT. Geo Dipa Energi, IUGC ITB, PITT Akamigas, PKM dll. Sejak tahun kedua kuliah, penulis mendapatkan kesempatan menjadi asisten Lab. Geofisika Teknik dan Lingkungan, asisten mata kuliah geologi fisik dan geologi struktur, serta koor. tentor untuk pendampingan mahasiswa luar negeri di Departemen Teknik Geofisika ITS. Penulis pernah menjuarai kompetisi debat nasional perminyakan “RAISE” di UPN V Yogyakarta sebagai juara 2 serta PKM terdantai tahun 2016. Disamping prestasi keilmiah, penulis juga memiliki banyak pengalaman organisasi untuk mengasah kemampuan kepemimpinan. Diantaranya adalah *board officer* SEG ITS SC, anggota SPE ITS SC, Ketua Umum KMTG Al Ardh, sekretaris kastrat BK MWA WM periode 2016, Direktur PKP LDJ JMMI ITS, Agen Kebajikan 2.0 IZI Jawa Timur dan *founder* FORMASI Surabaya. Dalam dunia kerja, penulis pernah menjadi staf bagian pemasaran dan distribusi produk untuk PT. MD Media, Risetkita.id, PT. Enciety dan PT. Ternaknesia Farm Inovasion. Penulis kerap diundang sebagai narasumber untuk pelatihan manajerial maupun seminar motivasi seperti oleh Campuspedia (*via Instagram*). Bagi pembaca yang ingin berdiskusi terkait tugas akhir ini maupun terkait pengalaman penulis, dapat menghubungi penulis melalui email [ferdion.geofisikaits@gmail.com](mailto:ferdion.geofisikaits@gmail.com) atau di 085746321028.

